



# Guía Aplicación ATEX en el sector de la alimentación animal



COFINANCIADO POR:





# Guía Aplicación ATEX en el sector de la alimentación animal

## Ignacio Garrido Ceca

Director Técnico Adix Ingeniería  
Especialista en Seguridad en Atmósferas Explosivas por la  
Cátedra Madariaga de la ETSI de Minas de Madrid.  
Consultor de CEN TC 305 WG03  
Miembro de Comité Técnico Nacional 163  
Coordinador del Comité de Expertos de Itecam  
Ingeniero Agrónomo  
Técnico Superior PRL (Seguridad)

## Colaboradores:

Carlos Alonso. Responsable de prevención. Nanta  
Manuel García. Responsable de prevención. Nuter  
Antonio Grau. Responsable de prevención. Cargill  
Rubén García. Responsable de prevención. Os Irmandiños  
Silvia Martín, Ana Hurtado, Patricia Vázquez, Inés Alonso.  
Responsables de proyecto. Interal  
Ramón Molinary. Director. Molinary&Gozalo, Asesores SL  
Alberto Tascón. Investigador de la Universidad de León

COFINANCIADO POR:





COFINANCIADO POR:



El Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino financia esta publicación en el marco de las ayudas a las Organizaciones Interprofesionales Agroalimentarias. Cualquier opinión contenida en este documento es responsabilidad exclusiva de INTERAL y no representa la opinión del MARM.

*GUÍA APLICACIÓN ATEX EN EL SECTOR DE LA ALIMENTACIÓN ANIMAL*

Diseño y Arte Final: Editorial Agrícola Española S.A.

DEPÓSITO LEGAL: M-23856-2010

# ÍNDICE

5	Introducción
7	1. Objetivos
9	2. Ámbito de aplicación de la guía
11	3. Definiciones
15	4. Directiva 99/92 CE
25	5. Directiva 94/9 CE
29	6. Clasificación de zonas por polvo
	6.1 Consideraciones previas
	6.2 Procedimiento para la clasificación de zonas de atmósferas explosivas por polvo
	6.3 Identificación de Fuentes de escape
	6.4 Clasificación por Zonas
	6.5 Ejemplos de Clasificación por Zonas
35	7. Fuentes de ignición
39	8. Evaluación del riesgo de explosión
	8.1 Introducción
	8.2 Metodología de evaluación de riesgos
	8.3 Determinación de la tarea a evaluar
	8.4 Identificación de riesgos
	8.5 Estimación del riesgo
	8.6 Valoración de riesgos
	8.7 Análisis de las opciones de reducción del riesgo
49	9. Evaluación del riesgo en los sistemas y equipos más habituales en las fábricas de piensos
	9.1 Tolvas de recepción
	9.2 Filtros de Mangas
	9.3 Elevadores de cangilones
	9.4 Transportadores de cadena
	9.5 Transportadores de tornillo
	9.6 Transporte neumático
	9.7 Transportadores de cinta
	9.8 Molinos de martillos
	9.9 Mezcladores
	9.10 Secadores
	9.11 Silos
	9.12 Prensas Granuladoras
57	10. Medidas de Prevención y Protección de Explosiones
	10.1 Medidas organizativas de prevención
	10.2 Medidas para reducir la atmósfera explosiva
	10.3 Medidas para evitar fuentes de ignición
	10.4 Medidas de protección
	10.5 Protección contra incendios
75	11. Redacción del Documento de Protección contra Explosiones
79	Anexo: Explosividad de Materias Primas
80	Bibliografía

## ÍNDICE ILUSTRACIONES

33	Ilustración 1 Exterior de Silos Zona Desclasificada
41	Ilustración 2 Fases de la evaluación de riesgos
42	Ilustración 3 Análisis funcional de estados
59	Ilustración 4 Señalización Permiso de Trabajo y Clasificación Zonas
61	Ilustración 5 Aspiración localizada en transportador de cadena
62	Ilustración 6 Detección de Gases
62	Ilustración 7 Molino de martillos. Control temperatura en rodamientos e interior de cámara de molienda
63	Ilustración 8 Cable de continuidad en conducto de transporte neumático
63	Ilustración 9 Puesta a tierra de camiones durante la descarga
64	Ilustración 10 Big-Bag Tipo B
65	Ilustración 11 Control de giro en elevador de cangilones
65	Ilustración 12 Detector desvío de banda en elevador de cangilones
66	Ilustración 13 Esquema sistema detección y apagado chispas
67	Ilustración 14 Equipo detección chispas en enfriador
67	Ilustración 15 Imán previo a almacenamiento
68	Ilustración 16 Rejilla en tolva de recepción
68	Ilustración 17 Sistema de limpieza de cuerpos extraños en alimentador de molino
69	Ilustración 18 Desarrollo de una explosión con supresión
70	Ilustración 19 Montaje de venteo en silos y conducto al exterior
70	Ilustración 20 Montaje de venteo en cubierta de silos
71	Ilustración 21 Montaje de venteo en elevador de cangilones
71	Ilustración 22 Montaje de venteo sin llama en filtro de mangas
72	Ilustración 23 Barrera de aislamiento de explosión químico
72	Ilustración 24 Válvula antirretorno de explosión
73	Ilustración 25 Alimentadores de tornillo sinfín pueden actuar como aislamiento de explosión
73	Ilustración 26 Válvulas rotativas certificadas para aislamiento de explosión
74	Ilustración 27 Control de temperatura en silos para evitar autocombustión
74	Ilustración 28 Extinción de incendios en filtro de mangas

## ÍNDICE TABLAS

13	Tabla 1 Explosividad de Productos
31	Tabla 2 Zonas en función del grado de escape
45	Tabla 3 Asignación de probabilidad del riesgo de explosión
46	Tabla 4 Estimación de la severidad de la explosión
46	Tabla 5 Estimación del riesgo de explosión
47	Tabla 6 Niveles de acción y temporización



# Introducción

Las explosiones debidas a polvo combustible, se dan en los más diversos y variados procesos de la industria del cereal, afectando a actividades como: almacenamiento, transporte, molienda, filtración, secado, mezclado, etc. En combinación con el oxígeno del aire, el polvo que se produce en esos procesos, puede crear una atmósfera potencialmente explosiva que, en caso de ignición, producirá una explosión.

Las explosiones de polvo son habituales en el caso de los productos que se almacenan y procesan en el manejo del cereal. Cuando dichas explosiones se producen, los resultados pueden ser desastrosos tanto para personas como para las instalaciones.

Para minimizar el riesgo de explosión las Directivas ATEX regulan los requerimientos de equipos e instalaciones en presencia de atmósferas potencialmente explosivas. Dichas Directivas son de obligado cumplimiento desde el pasado 1 de Julio del 2003 ya es obligatoria la normativa ATEX que regula los requerimientos de equipos e instalaciones en presencia de atmósferas potencialmente explosivas.

Estas directivas, conocidas como ATEX son:

Directiva 1994/9/CE (ATEX 100). Transpuesta al derecho interno español mediante el Real Decreto 400/1996. Fija dispositivos de seguridad de control y ajustes que contribuyan al buen funcionamiento de los aparatos y sistemas de protección.

Directiva 1999/92/CE (ATEX 137). Transpuesta al derecho interno español mediante el Real Decreto 681/2003. Fija las prescripciones mínimas de protección en materia de seguridad y salud de los trabajadores que pueden verse expuestos a los riesgos de atmósferas susceptibles de explosión. Es obligación del empresario la elaboración de un documento de protección contra explosiones, que además se debe mantener actualizado.

El correcto desarrollo e implementación de estos requerimientos normativos, recogidos en las normativas mencionadas, ha motivado la elaboración de la presente Guía, cuyo principal fin es ayudar e ilustrar a los fabricantes de piensos en la prevención de atmósferas explosivas en sus instalaciones.

Para impulsar este proyecto se ha elegido a INTERAL como la organización idónea ya que reúne el foro más completo y competente en cuestiones de alimentación animal. Asimismo, INTERAL agradece el apoyo del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, sin el cual no hubiera sido posible la consecución de este proyecto así como la fructífera colaboración de CESFAC, la Fundación CESFAC y Cooperativas Agroalimentarias.





# 1. Objetivos

El objetivo de esta guía es dar a conocer los fundamentos básicos de las directivas ATEX y su interpretación a la hora de adecuar una instalación con riesgo de explosión.

En esta guía se indica la necesidad de clasificar por zonas y adecuar equipos en función de esta clasificación. Así como la correcta utilización de medidas de prevención y protección. Pretende informar a toda persona que tenga relación con la actividad de producción de alimentos para animales, a fin de que se tome conciencia del riesgo que implica no respetar las medidas preventivas para evitar graves accidentes.

Se propone esta guía técnica como documento de referencia, para el establecimiento de buenas prácticas de prevención y protección contra explosiones en las instalaciones de manejo y procesado de grano y más concretamente en plantas para la fabricación de piensos compuestos, ya que en sus procesos industriales están presentes o pueden estar presentes atmósferas explosivas por polvo y gas.

Las recomendaciones que en esta guía se incluyen están basadas en informes y normas nacionales e internacionales de reconocido prestigio contempladas en la bibliografía.

Además, se presentan soluciones que pueden servir de base para adecuación de las instalaciones a normativa ATEX, pero en ningún caso prescribe los requisitos específicos de cada instalación que según la evaluación de riesgos realizada en el Documento de Protección Contra Explosiones garanticen la seguridad de los procesos. En este sentido, se recomienda contar con la opinión de expertos.





## 2. **Ámbito de aplicación de la guía**

El ámbito de aplicación de esta guía se resume en los siguientes puntos:

En lo relativo al tipo de atmósferas explosivas, la guía incluye aquellas formadas por mezclas de polvo o gases y aire.

Se proponen criterios de adecuación de instalaciones internacionalmente reconocidos y de fuentes de reconocida solvencia técnica en el campo de las atmósferas explosivas (INSHT, Normas e Informes UNE-EN, Guías y Criterios de la Comisión Europea, etc.), las cuales serán adecuadamente referenciadas en esta guía.

Se incluyen ejemplos aclaratorios utilizando para ello escenarios de riesgos ATEX propios de las plantas de procesado de cereales.

De conformidad con la definición legal de "atmósfera explosiva" dada en la Directiva 1999/92/CE, la guía sólo es aplicable en condiciones atmosféricas. Así pues, tanto la Directiva como la guía no son aplicables en condiciones no atmosféricas, aunque esto no exime al empresario de sus obligaciones en materia de protección contra explosiones.

En tal caso seguirán siendo aplicables las demás normas de seguridad en el trabajo.





## 3. Definiciones

Sírvase como referencia el uso de la norma UNE EN 13237 y UNE EN 1127-1, no obstante a continuación se incluyen algunos de los términos más usados:

### **Atmósfera explosiva**

Mezcla con el aire, en condiciones atmosféricas, de sustancias inflamables en forma de polvos, en la que, tras una ignición, la combustión se propaga a la totalidad de la mezcla no quemada. No se aplica para sustancias inestables, como explosivos, o cuando la mezcla explosiva está fuera de lo que se entiende como condiciones atmosféricas normales.

### **Sustancia inflamable / combustible**

Sustancia en forma de líquido, sólido o de sus mezclas, que al mezclarse con el aire puede ser capaz de sufrir una reacción exotérmica después de la ignición.

### **Zona Clasificada ATEX**

Región con riesgo de formación de atmósfera explosiva, teniendo en cuenta la probabilidad de formación y duración de la misma.

### **Condiciones normales de explotación**

Es la utilización de las instalaciones de acuerdo con sus especificaciones técnicas de funcionamiento. Incluyendo las condiciones de arranque y parada. Pequeños escapes pueden considerarse dentro de esta definición. Los fallos que precisan una reparación urgente o una parada de la planta no están incluidos, así como las situaciones catastróficas.

### **Condiciones atmosféricas normales**

Cuando la temperatura está comprendida entre -20°C y 60°C y la presión está en el rango 0,8 bar. a 1,1 bar. Esto está motivado porque los productos eléctricos suelen diseñarse y ensayarse para su uso en un intervalo de temperaturas ambiente de -20°C a 40°C. Los productos diseñados para su uso fuera de este intervalo necesitan un marcado adicional y la realización de ensayos complementarios.

### **Fuente de escape**

Punto o localización por donde el gas/polvo puede escapar, por lo que se puede formar una mezcla explosiva en aire. Dependiendo de las circunstancias, no toda fuente de escape producirá necesariamente una mezcla explosiva. Pero tiene que tenerse en cuenta, ya que una fuente difusa o pequeña con el tiempo es capaz de producir una atmósfera potencialmente peligrosa.

### **Disfuncionamiento**

Los aparatos, sistemas de protección y componentes no desempeñan la función prevista como la variación de una característica o de una dimensión del material procesado o de la pieza elaborada, el fallo de una (o más) partes de los aparatos, sistemas de seguridad y componentes, perturbaciones externas (por ejemplo, choques, vibraciones, campos electromagnéticos),



error o deficiencia en el diseño (por ejemplo, errores de software), perturbaciones en la alimentación de energía o en otros servicios, pérdida de control por parte del operador (especialmente para máquinas portátiles).

**Temperatura Mínima de Inflamación (TMI)**

Temperatura más baja de una superficie caliente, obtenida en condiciones de ensayo determinadas, a la que se puede producir la ignición de una sustancia combustible en forma de mezcla de gas o vapor con aire.

**Límite inferior de explosividad (LIE):**

Concentración en el aire de gas o vapor inflamable por debajo de la cual la atmósfera de gas no es explosiva.

**Límite superior de explosividad (LSE):**

Concentración en el aire de gas o vapor inflamable por encima de la cual la atmósfera de gas no es explosiva.

**Grupo y Subgrupo de gas**

IIA, IIB o IIC, lo que depende de características específicas del gas, como son su Energía Mínima de Inflamación (EMI), su Corriente Mínima de Inflamación (CMI), o su Intersticio Experimental Máximo de Seguridad (IEMS)

**Energía Mínima de Inflamación (EMI)**

Es la menor energía, en función de la concentración a la que, a partir de una descarga capacitiva, se inicia la explosión.

**Punto de Destello (PD)**

Temperatura a la que, en la interfase liquido-vapor, en presencia de aire en condiciones atmosféricas, se alcanza en el equilibrio el Límite Inferior de Explosividad. Es por tanto un parámetro solo aplicable a sustancias combustibles que en condiciones atmosféricas son líquidos.

**Densidad del gas respecto del aire**

Relación entre la densidad de un gas o de un vapor y la densidad del aire en las mismas condiciones de presión y temperatura (la del aire es 1,0).

**Temperatura mínima de ignición en capa (TMlc)**

Es la menor temperatura a la que se inicia el proceso de ignición de una muestra de polvo depositada en forma de capa. El dispositivo de ensayo para determinar la TMlc consiste en una placa metálica cuya temperatura se puede variar, sobre la que se deposita la muestra. Si la temperatura de ésta supera a la de la placa, se entiende que se ha producido la ignición.

**Temperatura mínima de inflamación en nube (TMIn)**

Es la menor temperatura a la que se inicia el proceso de ignición de una muestra de polvo dispersada en forma de nube. El dispositivo de ensayo para determinar la TMIn consiste en un cilindro vertical calentado eléctricamente a una cierta temperatura, en el que se provoca la dispersión del polvo. La aparición de llamas evidencia la inflamación de la muestra a la temperatura fijada.

**Energía mínima de inflamación**

Es la menor energía eléctrica, obtenida por descarga capacitiva, que es capaz de iniciar la ignición de una nube de polvo. El dispositivo de ensayo es un Tubo de Hartmann.

**Concentración mínima explosiva (CME)**

Llamamos CME al límite inferior de un intervalo de concentraciones de polvo en suspensión, para el cual la mezcla polvo-aire es potencialmente explosiva. El método de ensayo tradicional para determinar la CME se basa en el denominado Tubo de Hartmann.



**Presión máxima de explosión (PME o Pmax)**

Se llama presión máxima de explosión a la presión más alta alcanzada durante el proceso de explosión. Da indicación del efecto destructivo de una explosión y se emplea en el cálculo y diseño de sistemas de protección contra explosiones.

**Constante característica (Kst o Kmax)**

Es una constante característica de cada tipo de polvo combustible, que se emplea para establecer una clasificación de la explosividad del polvo en cuatro categorías o clases de explosión diferentes. El valor máximo de Kst se le viene denominando Kmax.

En la **Tabla 1** Explosividad de Productos, se da la relación existente entre la clase de explosión, la constante característica y la severidad física de la explosión de polvo.

*Tabla 1. Explosividad de Productos*

Clase	Kmax (bar.m/s)	Característica
St 0	0	No hay explosión
St 1	0-200	Explosión débil
St 2	200-300	Explosión fuerte
St 3	>300	Explosión muy fuerte

**Concentración mínima de oxígeno (CLO)**

Es el menor contenido en la atmósfera necesario para que pueda tener lugar la explosión. Suele emplearse como parámetro en los casos en los que es posible reducir la proporción de oxígeno en el ambiente mediante la adición de gases inertes.

**Susceptibilidad térmica (reacciones exotérmicas o autoignición)**

Es la susceptibilidad de los productos a autocombustión. Se puede estudiar mediante dos técnicas basadas en el análisis termogravimétrico. Estas conducen a la obtención de dos parámetros relevantes: la temperatura característica de oxidación y la energía de activación aparente.

Es preciso tener en cuenta que dichos datos de seguridad no son constantes físicas, sino que dependen por ejemplo de las técnicas utilizadas para la medición. Así, para los polvos, las tablas de datos de seguridad sólo se utilizan a título de orientación, porque los valores dependen de la distribución granulométrica, de la forma de las partículas, del contenido de humedad y de la presencia de aditivos, incluso en pequeñas concentraciones.

Para una aplicación específica, se deberían ensayar muestras del polvo presente en el aparato, y utilizar los datos obtenidos para la identificación del peligro.





## 4. Directiva 99/92 CE

*[Texto original: Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las atmósferas explosivas en los lugares de trabajo.  
Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo]*

La Directiva 99/92 CE transpuesta al derecho español mediante el Real Decreto 681/2003, regula la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.

La norma contiene la definición de atmósfera explosiva, que se define como la mezcla con el aire, en condiciones atmosféricas, de sustancias inflamables en forma de gases, vapores, nieblas o polvos, en la que, tras una ignición, la combustión se propaga a la totalidad de la mezcla no quemada. Se contemplan en la norma, además, una serie de obligaciones del empresario con objeto de prevenir las explosiones y de proteger a los trabajadores contra éstas. El empresario deberá tomar diferentes medidas de carácter técnico u organizativo, siempre de acuerdo con los principios básicos que deben inspirar la acción preventiva, que se combinarán o completarán, cuando sea necesario, con medidas contra la propagación de las explosiones.

Además se establecen las siguientes obligaciones del empresario

- Prevención de explosiones y protección contra éstas.
- Evaluación de los riesgos de explosión
- Obligaciones generales
- Obligación de coordinación
- Clasificación de áreas en las que pueden formarse atmósferas explosivas
- Realización del Documento de protección contra explosiones

### Ámbito de aplicación

El Real Decreto (RD) 681/2003 tiene por objeto, establecer las disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores que pudieran verse expuestos a riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo, según se definen en el artículo 2 del citado RD.

El Real Decreto 681/2003, constituye una norma de desarrollo reglamentario de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales (LPRL) para su aplicación en los lugares de trabajo en los que puedan originarse atmósferas explosivas y su objeto es la prevención de daños a la salud de los trabajadores como consecuencia de los riesgos derivados de este hecho.

Este Real Decreto, establece entre otros, los criterios que debe tener en cuenta el empresario, en lo referente a la evaluación de riesgos, la formación e información de los trabajadores y sus representantes, las características de los equipos y medios de protección, dentro de la obligación general de aplicar los principios de la acción preventiva, para aquellos riesgos específicos derivados de las atmósferas explosivas que pueden formarse en cualquier lugar de trabajo donde se utilicen sustancias inflamables o productos combustibles.

Las disposiciones de este Real Decreto se aplicarán sin perjuicio de las disposiciones más rigurosas o específicas establecidas en la normativa específica que sea de aplicación.



Por lo tanto el cumplimiento de los requisitos establecidos en este Real Decreto, no exime al empresario del cumplimiento, cuando le sea aplicable, de normativa más rigurosa o específica, bien sea del ámbito de la seguridad industrial, como es el caso de la normativa que regula las condiciones de almacenamiento de productos químicos.

Las disposiciones de este Real Decreto no serán de aplicación a:

- a) Las áreas utilizadas directamente para el tratamiento médico de pacientes y durante dicho tratamiento
- b) La utilización reglamentaria de los aparatos de gas conforme a su normativa específica
- c) La fabricación, manipulación, utilización, almacenamiento y transporte de explosivos o sustancias químicamente inestables
- d) Las industrias extractivas por sondeos y las industrias extractivas, a cielo abierto o subterráneas, tal como se definen en su normativa específica
- e) La utilización de medios de transporte terrestres, marítimo y aéreo, a los que se aplican las disposiciones correspondientes de convenios internacionales, así como la normativa mediante la que se da efecto a dichos convenios. No se excluirán los medios de transporte diseñados para su uso en una atmósfera potencialmente explosiva

### Definición de atmósfera explosiva

A los efectos de este Real Decreto, se entenderá por atmósfera explosiva la mezcla con el aire, en condiciones atmosféricas, de sustancias inflamables en forma de gases, vapores, nieblas o polvos, en la que, tras una ignición, la combustión se propaga a la totalidad de la mezcla no quemada.

Las explosiones a que se refiere esta definición, son explosiones químicas producidas a partir de una reacción de combustión muy exotérmica. Se pueden definir como una combustión rápida que provoca la compresión de la mezcla no quemada y del aire en las proximidades, dando lugar a una onda de presión (onda aérea) y a un frente de llama que se propaga rápidamente.

La energía liberada en una explosión no tiene porque ser necesariamente mayor a la producida a partir de una combustión simple, pero esta energía es liberada en un tiempo muy pequeño y por tanto con gran potencia.

En función de cómo se mezcle la sustancia inflamable con el aire, de su concentración y de cómo se produzca la ignición, se puede generar una combustión rápida en forma de llamarada o generarse un frente de llama y las citadas ondas de presión causando la explosión.

Las explosiones a que nos referimos, normalmente se propagan en régimen de **deflagración**, es decir, la velocidad lineal de avance de la reacción (frente de llama) es inferior a la velocidad del sonido, y la onda de presión generada, avanza por delante del frente de llama o zona de reacción.

La **detonación** es un régimen de propagación de la explosión más severo, la velocidad de propagación es superior a la velocidad del sonido y la onda de presión, denominada onda de choque y el frente de llama avanzan acoplados. Este fenómeno es debido al efecto de compresión de la onda de choque, la cual genera una alta temperatura y da lugar a la autoignición de la mezcla inflamable que aún no se ha quemado. Como consecuencia, se requerirán métodos específicos de protección.

La definición de atmósfera explosiva del artículo 2, incluye en general todas las atmósferas inflamables tanto si la explosión se propaga en régimen de deflagración (que será lo más habitual), como si lo hace en forma de detonación.

Otro aspecto que debe cumplirse para que una atmósfera pueda considerarse como explosiva, a efectos de éste Real Decreto, es el hecho de que la mezcla de las sustancias inflamables con el aire se debe producir en condiciones atmosféricas. Estas condiciones, se refieren a las condiciones de presión y temperatura habituales en el ambiente de trabajo.

Por ejemplo, dentro del ámbito de aplicación de éste Real Decreto, no se consideraría atmósfera explosiva, el interior de un recipiente a presión de sustancias inflamables, pero sí la formada en el lugar de trabajo a causa de escapes o fugas de las sustancias inflamables o combustibles almacenadas a presión o la que existe en el interior de tanques y almacenamientos atmosféricos.

Para que se forme una atmósfera explosiva, es necesario, entre otras condiciones, que la sustancia inflamable esté íntimamente mezclada con el aire. Las sustancias y preparados con



propiedades físico-químicas propicias para formar atmósferas explosivas (ATEX) y que pueden mezclarse fácilmente con el aire, son aquellas que se presentan en forma de gases, vapores y nieblas o sólidos combustibles en forma de polvo.

En un sentido amplio, el concepto de vapor es equivalente al de gas, y muchas veces se utilizan ambos indistintamente. Sin embargo, estrictamente, se reserva el término vapor al estado gaseoso que adoptan los líquidos por acción del calor. Todos los vapores de sustancias líquidas combustibles como carburantes, aceites combustibles, disolventes..., pueden causar atmósfera explosiva.

Al igual que en el caso anterior, estas propiedades favorecen la mezcla íntima de la sustancia con el oxígeno del aire, sin embargo en este caso, la velocidad de difusión será menor ya que dependerá de las propiedades fisicoquímicas del fluido (punto de inflamación o flash point) y de la temperatura ambiente.

Las **nieblas** se forman, normalmente, por acción mecánica en procesos con líquidos tales como nebulización, pulverización, inyección, dispersión, etc. en los que pequeñas gotas quedan suspendidas en forma de nube en el aire. Las nieblas formadas a partir de líquidos inflamables y combustibles, son susceptibles de formar atmósferas explosivas, incluso a temperaturas inferiores al punto de inflamación (flash point). Estas gotículas, favorecerán la evaporación del líquido que las forma, por tanto a efectos de medidas preventivas, medios de protección y equipos a utilizar, suelen considerarse como vapor.

El **polvo** con capacidad de formar atmósferas explosivas, es materia particulada que proviene de sólidos combustibles. La dispersión de estas partículas sólidas en el aire formando una nube de polvo, también se produce, normalmente, por acción mecánica externa, como acciones de molienda o cribado, transporte, llenado o vaciado.... Su permanencia en suspensión en el aire dependerá de su densidad, del tamaño de las partículas que lo constituyen, de las condiciones ambientales, etc. Se incluyen en general todos los polvos formados a partir de materia orgánica (sustancias alimenticias y piensos, sustancias vegetales...), determinadas sustancias químicas (productos farmacéuticos, determinadas materias plásticas...) y aquellos provenientes del procesado y manipulación de algunos metales (aluminio, magnesio...) finamente divididos y especialmente en atmósferas enriquecidas en oxígeno.

En los procesos de ensacado, trasvase, transporte, etc. de polvos inflamables, se pueden formar ATEX. En el caso de materia particulada, tanto polvos como nieblas, el grado de dispersión suficiente en el aire, para producir una atmósfera explosiva, solo se consigue si el tamaño de las gotículas o de las partículas es suficientemente pequeño para posibilitar el mantenimiento de las mismas en suspensión, ya que en caso contrario se depositarían. Hay que prestar especial atención a las denominadas mezclas híbridas, que son mezclas de aire y sustancias inflamables en distintos estados físicos (materia particulada y gases o vapores inflamables) a temperatura y presión atmosférica. En estos casos, las condiciones de formación de la mezcla explosiva o de su ignición, pueden variar con respecto a las correspondientes a cada uno de sus componentes por separado, es decir, la explosión se puede producir a concentraciones inferiores a la concentración mínima o al límite inferior de explosividad de cada componente individual.

La mayor parte de gases, vapores y nubes de polvo inflamables, son susceptibles de explotar si se inflaman bajo ciertas condiciones

A continuación se pasan a detallar los principales aspectos recogidos en el articulado del Capítulo 2. Obligaciones del empresario del Real Decreto 681/2003:

### **Artículo 3. Prevenciones de explosiones y prevención frente a éstas**

Establece la obligación de implementar medidas de Prevención de explosiones y protección contra éstas. Con objeto de prevenir las explosiones, de conformidad con el **artículo 15.1 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales**, y de proporcionar una protección contra ellas, el empresario deberá tomar medidas de carácter técnico y/u organizativo en función del tipo de actividad, siguiendo un orden de prioridades y conforme a los principios básicos siguientes: impedir la formación de atmósferas explosivas o, cuando la naturaleza de la actividad no lo permita, evitar la ignición de atmósferas explosivas y atenuar los efectos perjudiciales de una explosión de forma que se garantice la salud y la seguridad de los trabajadores.

Estas medidas se combinarán o completarán, cuando sea necesario, con medidas contra la propagación de las explosiones. Se revisarán periódicamente y, en cualquier caso, siempre que se produzcan cambios significativos



Las medidas preventivas que se realicen y las medidas finalmente adoptadas o planificadas deben ser conformes al orden de prioridades que se establece en los principios generales de acción preventiva definidos en el artículo 15.1 de la LPRL.

1. Evitar los riesgos: EVITAR LA FORMACIÓN DE ATEX
2. Evaluar los riesgos que no hayan podido evitarse: EVALUAR EL RIESGO DE IGNICIÓN DE LA ATEX
3. Aplicar las medidas preventivas oportunas para que en caso de que se materialice el riesgo se garantice la seguridad de los trabajadores: ATENUAR LOS EFECTOS DE LA EXPLOSIÓN

En toda acción preventiva, la primera actuación es siempre evitar los riesgos impidiendo la formación de la atmósfera explosiva actuando sobre la fuente, es decir impidiendo la liberación o difusión de cualquier sustancia inflamable en el ambiente de trabajo o evitando su mezcla con el aire en concentraciones peligrosas. La imposibilidad de que una mezcla inflamable entre en contacto con una fuente de ignición que le suministre la energía de activación necesaria para iniciar la reacción, es también un método de control de riesgos siempre y cuando exista un control sobre la atmósfera explosiva que se haya formado. Por tanto, es imprescindible el uso de equipos e instalaciones adecuados, para que éstos no sean fuente de ignición.

Se evaluarán los riesgos que no puedan evitarse estimando la probabilidad de formación de una atmósfera explosiva, su extensión, posibilidad de entrar en contacto con una fuente de ignición y consecuencias finales, según lo indicado en el artículo 4 del presente Real Decreto.

Por último, se tendrán en cuenta las medidas de protección que atenúen los efectos de la explosión que pueden ir desde la implantación de barreras físicas que eviten que los efectos del calor y de las ondas de presión, hasta la orientación de la explosión y sus efectos hacia lugares o espacios donde no causen daños personales, y los posibles daños materiales sean minimizados por la interposición de elementos estructurales de baja resistencia (cubiertas, mamparas, ventanas...) con el fin de facilitar la liberación de energía.

Todas estas medidas pueden ser de carácter técnico, si actúan modificando los parámetros que originan la formación de una atmósfera explosiva o de carácter organizativo si modifican la forma de trabajo.

#### **Artículo 4. Evaluación de los riesgos de explosión**

En cumplimiento de las obligaciones establecidas en los artículos 16 y 23 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales y en la sección 1.<sup>a</sup> del capítulo II del Reglamento de los Servicios de Prevención, el empresario evaluará los riesgos específicos derivados de las atmósferas explosivas, teniendo en cuenta, al menos:

- a) La probabilidad de formación y la duración de atmósferas explosivas
- b) La probabilidad de la presencia y activación de focos de ignición, incluidas las descargas electrostáticas
- c) Las instalaciones, las sustancias empleadas, los procesos industriales y sus posibles interacciones
- d) Las proporciones de los efectos previsibles

Los riesgos de explosión se evaluarán globalmente.

El principio básico frente a los riesgos de explosión, debe ser evitar el riesgo de formación de atmósferas explosivas. Por tanto, como indica el artículo 3, las primeras actuaciones irán encaminadas a:

1. Evitar la presencia de sustancias inflamables
2. Evitar la mezcla de estas sustancias con el aire

Si ninguna de estas dos opciones fuesen viables, existe la posibilidad de que se forme atmósfera explosiva y por tanto hay que evaluar el riesgo.

El artículo 4 indica unos pasos básicos para realizar dicha evaluación:

- a) La probabilidad de formación y la duración de la atmósfera explosiva: Se analizará la frecuencia con que se produce la mezcla de la sustancia inflamable con el aire, es decir, si se produce de forma permanente, a intervalos definidos o si es improbable que se produzca.



Con esta indicación, el artículo 4 presenta una forma de evaluar que se utilizará para la posterior clasificación en zonas (art. 7 y anexo I), ya que se reproduce este concepto.

Respecto a la duración, se debe partir de la base de que no se debe permitir una emisión permanente de sustancia inflamable y se deben evitar las acumulaciones de atmósfera explosiva, por tanto se deben contemplar las medidas necesarias para que la duración y volumen del escape siempre sean mínimos.

b) La probabilidad de la presencia y activación de focos de ignición, incluidas, las descargas electrostáticas. Hay que evaluar cualquier fuente de ignición que pueda aparecer en las áreas donde puedan formarse atmósferas explosivas. Estas fuentes de ignición, pueden ser fijas (aparatos y equipos fijos situados en zonas de riesgo) o pueden introducirse en las áreas de riesgo a razón de las actividades a realizar (equipos portátiles o medios de manutención y transporte). Estos equipos y medios deben cumplir la normativa que le sea de aplicación y en cualquier caso se debe evaluar su idoneidad respecto al riesgo de explosión. Habrá que evaluar especialmente, las actividades que se realizan en las áreas de riesgo y los equipos que en éstas intervienen.

Las descargas electrostáticas pueden darse tanto por las condiciones de desarrollo del proceso como por carga acumulada por los trabajadores, por ello tendrán que evaluarse todas las circunstancias en que puedan producirse dichas descargas electrostáticas.

c) Las instalaciones, las sustancias empleadas, los procesos industriales y sus posibles interacciones. De manera general, las fases de la evaluación del riesgo comprenderán:

- Identificación de las sustancias susceptibles de formar atmósfera explosiva
- Análisis de instalaciones, procesos industriales, equipos, etc., especialmente los puntos y actividades donde las sustancias inflamables que intervienen se pueden mezclar con el aire formando atmósfera explosiva. Al analizar la presencia de sustancias inflamables, se considerarán tanto las materias primas utilizadas y los productos finales como las posibles sustancias inflamables intermedias que puedan producirse durante el proceso
- Interacciones entre equipos, instalaciones, procesos y actividades que puedan dar lugar a mezcla de sustancia inflamable con el aire

d) Las proporciones de los efectos previsibles. Para minimizar los efectos de la explosión se evitará que pueda propagarse a lo largo de la instalación, ya que se aumenta la probabilidad de provocar incendios y otras explosiones aumentando los efectos dañinos y destructivos. Evaluar los efectos particulares de una explosión puede requerir cálculos complejos, por tanto hay que tender siempre a evitar que éstos puedan ser multiplicativos al afectar a equipos y procesos adyacentes propagándose a zonas donde se hayan establecido puestos de trabajo. Esta evaluación de riesgos debe contemplar todas las actividades que se realicen en la empresa, tanto las actividades rutinarias de proceso como las actividades periódicas tales como limpieza, mantenimiento, revisiones... Igualmente, la evaluación de riesgos contemplará todas las fases de la actividad: arranque, régimen de trabajo, parada, disfuncionamientos previsibles así como posibles errores de manipulación.

La evaluación debe ser global valorando en su conjunto los equipos existentes, las características de construcción de los mismos, las materias utilizadas, las condiciones de trabajo y los procedimientos así como las posibles interacciones de estos elementos entre sí y con el entorno de trabajo.

El riesgo de explosión es siempre un riesgo grave, ya que en caso de haber trabajadores expuestos las consecuencias son graves o muy graves. Por eso, este riesgo debe estar controlado y las medidas preventivas a tomar, deberían tener un carácter prioritario.

La evaluación de riesgos debe mantenerse actualizada y revisarse periódicamente, especialmente antes de comenzar cualquier nueva actividad y/o proceso o antes de reanudar la actividad en caso de haber realizado modificaciones y/o reformas en una planta o proceso existente, incluyendo el hecho de que se introduzcan nuevas sustancias o fórmulas diferentes.

En la evaluación de los riesgos de explosión se tendrán en cuenta los lugares que estén o puedan estar en contacto, mediante aperturas, con lugares en los que puedan crearse atmósferas explosivas.

Cuando no se pueda evitar la presencia de atmósfera explosiva o no esté confinada y controlada, se debe prestar especial atención a los lugares que están o pueden quedar comunicados con las áreas de riesgo a través de aberturas, ya que por su propia naturaleza las sustan-



cias que forman la atmósfera explosiva pueden desplazarse acumulándose en zonas no protegidas. Por ejemplo:

Si el gas o vapor es menos denso que el aire, tenderá a ascender acumulándose en falsos techos por ejemplo o filtrándose a través de rejillas y conductos. Si es más denso, tenderá a descender acumulándose a ras de suelo.

Los derrames de líquidos inflamables deben ser controlados y eliminados evitando su filtración en materiales porosos y acumulación en zonas poco accesibles.

El polvo es siempre más denso que el aire, por tanto tiende a depositarse. En ausencia de ventilación o de procesos externos, las partículas más finas permanecerán más tiempo en suspensión. El polvo puede acumularse en cualquier parte dentro del volumen ocupado por la nube. Hay que evaluar toda la zona afectada incluyendo los puntos menos accesibles como pueden ser canaletas de cables, estanterías en altura, parte superior de los equipos, etc., ya que en estas zonas puede acumularse el polvo que se encuentra en suspensión.

### **Artículo 5. Obligaciones generales**

Con objeto de preservar la seguridad y la salud de los trabajadores, y en aplicación de lo establecido en los artículos 3 y 4, el empresario tomará las medidas necesarias para que:

- a. En los lugares en los que puedan formarse atmósferas explosivas en cantidades tales que puedan poner en peligro la salud y la seguridad de los trabajadores o de otras personas, el ambiente de trabajo sea tal que el trabajo pueda efectuarse de manera segura.
- b. En los ambientes de trabajo en los que puedan formarse atmósferas explosivas en cantidades tales que puedan poner en peligro la salud y la seguridad de los trabajadores, se asegure, mediante el uso de los medios técnicos apropiados, una supervisión adecuada de dichos ambientes, con arreglo a la evaluación de riesgos, mientras los trabajadores estén presentes en aquéllos.

Del cumplimiento del artículo 3 y 4 del presente Real Decreto se desprende que se habrá hecho todo lo posible para eliminar el riesgo o bien, que habrá sido controlado y evaluado, adoptando las medidas preventivas necesarias para garantizar la seguridad y salud de los trabajadores. Sin embargo pueden darse circunstancias en las que sea necesario garantizar que las condiciones ambientales seguras, se mantienen en el momento de desarrollar el trabajo. En estos casos será necesario prever una supervisión de dichas condiciones antes de comenzar los trabajos.

Se debe establecer:

- Cuándo se va a realizar la supervisión del ambiente: se requerirá una supervisión del ambiente cuando se vayan a realizar actividades que por su naturaleza o por los equipos que implica, pueden generar o aumentar el riesgo de explosión. Es decir, para realizar una actividad que implique fuentes de ignición en un área donde puede formarse una atmósfera explosiva, se necesita constatar que efectivamente no hay atmósfera explosiva en el ambiente y que no se producirá hasta que no se hayan restablecido las condiciones de seguridad. Otro caso en que sería necesario verificar las condiciones ambientales es cuando para garantizar la seguridad hay que limitar la temperatura o cualquier otro parámetro ambiental, en cuyo caso habrá que supervisar que el límite efectivamente se mantiene. Igualmente se deben supervisar las condiciones ambientales siempre que se modifiquen las condiciones de las áreas susceptibles de presencia de atmósferas explosivas.
- Cómo se realiza la supervisión del ambiente: normalmente la supervisión va a consistir en el control de las condiciones ambientales que se consideran seguras respecto al riesgo de explosión. Puede consistir en: detección de sustancia inflamable en el ambiente y sus concentraciones, control de temperatura, control de condiciones de ventilación, etc. La mayoría de las veces se requerirá realizar mediciones o vigilancia de paneles de control. En cualquier caso se establecerá un procedimiento que indique en qué va a consistir la supervisión (ej: si es puntual o continua), cómo se va a realizar (equipos con los que se va a realizar, número de mediciones, etc.), quién debe efectuarla y los resultados válidos para poder realizar la actividad.
- Procedimiento de actuación: los resultados de la supervisión deben garantizar que la operación se va a realizar en condiciones seguras. El ambiente de trabajo seguro frente al riesgo de explosión se puede concretar en diferentes aspectos:
  - No existe atmósfera explosiva



- El trabajo se realiza con la garantía de que no se producirá la inflamación de una posible atmósfera explosiva
  - La posible inflamación de la atmósfera explosiva no causará daños a los trabajadores
  - El procedimiento de actuación dependerá de los resultados obtenidos de la supervisión
  - La necesidad de supervisar el ambiente de trabajo así como las prescripciones para su realización, deben estar recogidas en la evaluación de riesgos. Normalmente la necesidad de realizar la supervisión del ambiente irá acompañada de medidas organizativas de prevención incluyendo permisos de trabajo que garanticen entre otras cosas, que se ha realizado o se está realizando la supervisión del ambiente mientras se desarrolla la actividad
- Sobre la supervisión del ambiente de trabajo, se detalla más información en el apéndice “Funciones y cualificación”.

## **Artículo 6. Obligación de coordinación**

### ***Introducción***

En caso de trabajar de manera simultánea y próximos a personas o grupos de trabajo independientes entre sí, pueden ponerse mutuamente en peligro de manera inadvertida.

Estos peligros se generan sobre todo porque los participantes se concentran en primer lugar en su propia tarea, y a menudo no conocen, o sólo vagamente, el comienzo, la naturaleza y envergadura de los trabajos realizados a su lado.

El trabajo ejecutado en el seno de un grupo respetando las normas de seguridad no excluye el riesgo para las otras personas presentes en el entorno inmediato.

Sólo podrá garantizarse la prevención de riesgos mutuos mediante la coordinación entre todos los participantes en tiempo oportuno.

Por esta razón, en la adjudicación de trabajos el mandante y el mandatario están sometidos a la obligación de coordinación para no ponerse mutuamente en peligro.

Esta obligación de coordinación se corresponde con lo dispuesto en el artículo 24 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales en caso de que se ocupe en un mismo lugar a trabajadores de varios empresarios.

En emplazamientos de obras de construcción deben observarse, además, las disposiciones nacionales en la materia.

### ***Objetivos de la coordinación***

La aplicación coherente y responsable de los principios de la acción preventiva por las empresas concurrentes en el centro.

La aplicación correcta de los métodos de trabajo por las empresas concurrentes en el centro de trabajo.

El control de las interacciones de las diferentes actividades desarrolladas en el centro de trabajo, en particular cuando puedan generar riesgos calificados como graves o muy graves o cuando se desarrollen en el centro de trabajo actividades incompatibles entre sí por su incidencia en la seguridad y la salud de los trabajadores.

La adecuación entre los riesgos existentes en el centro de trabajo que puedan afectar a los trabajadores de las empresas concurrentes y las medidas aplicadas para su prevención.

La adecuación entre los riesgos existentes en el centro de trabajo que puedan afectar a los trabajadores de las empresas concurrentes y las medidas aplicadas para su prevención.

### ***Modalidades de coordinación***

Cuando en un mismo centro de trabajo desarrollen actividades trabajadores de dos o más empresas, éstas deberán cooperar en la aplicación de la normativa de prevención de riesgos laborales.

Se encuentran dentro del alcance de la coordinación de actividades empresariales los siguientes supuestos:

- Concurrencia de trabajadores de varias empresas en un mismo centro de trabajo
- Concurrencia de trabajadores de varias empresas en un centro de trabajo del que un empresario es titular
- Concurrencia de trabajadores de varias empresas en un centro de trabajo cuando existe un empresario titular



- *Concurrencia de Trabajadores de varias empresas en un mismo centro de trabajo*

Aplica a todas las empresas y trabajadores autónomos concurrentes en el centro de trabajo, existan o no relaciones jurídicas entre ellos.

**Antes del inicio de la actividad:**

Informar a sus trabajadores de los riesgos derivados de la concurrencia de actividades.

Información entre las empresas y trabajadores autónomos concurrentes, sobre los riesgos específicos de las actividades que desarrollen:

- o Suficiente
- o Antes del inicio de las actividades
- o Cambio en las actividades concurrentes
- o Por escrito cuando se generen riesgos graves o muy graves

**Durante la ejecución de la actividad:**

- Accidente de trabajo:
  - o Informar a los demás empresarios presentes en el centro de trabajo
- Situación de emergencia:
  - o Comunicar toda situación de emergencia susceptible de afectar a los otros trabajadores presentes

- *Concurrencia de trabajadores de varias empresas en un centro de trabajo del que un empresario es titular.*

El empresario titular del centro de trabajo es aquel que pone a disposición y gestiona el centro de trabajo.

Se aplica a todas las empresas y trabajadores autónomos concurrentes en el centro de trabajo, existan o no relaciones jurídicas entre ellos.

**Antes del inicio de la actividad:**

El empresario titular informará a los empresarios concurrentes de:

- o Riesgos propios del centro de trabajo
- o Medidas de prevención
- o Medidas de emergencia
- o Instrucciones para la prevención de riesgos en el centro de trabajo

Informar a sus trabajadores de los riesgos derivados de la concurrencia de actividades.

Información entre las empresas concurrentes sobre los riesgos específicos de las actividades que desarrollen:

- o Ser suficiente
- o Entregar antes del inicio de las actividades
- o Por cambio en las actividades concurrentes
- o Dar por escrito cuando se generen riesgos graves o muy graves

**Durante la ejecución de la actividad:**

- Accidente de trabajo:
  - o Informar a los demás empresarios presentes en el centro de trabajo
- Situación de emergencia:
  - o Comunicar toda situación de emergencia susceptible de afectar a los otros trabajadores presentes

- *Concurrencia de trabajadores de varias empresas en un centro de trabajo cuando existe un empresario principal*

El empresario principal es aquel que contrata actividades o servicios correspondientes a su propia actividad y que se desarrollan en su propio centro de trabajo.

Se aplica a todas las empresas y trabajadores autónomos concurrentes en el centro de trabajo, existan o no relaciones jurídicas entre ellos.

**Antes del inicio de la actividad**

El empresario principal deberá Informar de:

- Riesgos propios del centro de trabajo.
  - o Medidas de prevención
  - o Medidas de emergencia
  - o Instrucciones para la prevención de riesgos en el centro de trabajo
  - o Vigilar el cumplimiento de la normalización de Prevención de Riesgos Laborales y comprobar que se han establecido los medios de coordinación necesarios



- o Exigir a las empresas acreditación por escrito de:
  - Evaluación de riesgos y planificación de su actividad preventiva
  - Información y formación de los trabajadores

- Los riesgos derivados de la concurrencia de actividades.
- Los riesgos específicos de las actividades que desarrollen:

- o Ser suficiente
- o Entregar antes de las actividades
- o Por cambio en las actividades concurrentes
- o Dar por escrito cuando se generen riesgos graves o muy graves

**Durante la ejecución de la actividad**

- En un accidente de trabajo:
  - o Informar a los demás empresarios presentes en el centro de trabajo
- En una situación de emergencia:
  - o Comunicar toda situación de emergencia susceptible de afectar a los otros trabajadores presentes

**Medios de coordinación**

A continuación se hace una relación no exhaustiva de medios de coordinación:

- El intercambio de información y de comunicaciones entre las empresas concurrentes
- La celebración de reuniones periódicas entre las empresas concurrentes
- Las reuniones conjuntas de los comités de seguridad y salud de las empresas concurrentes o, en su defecto, de los empresarios que carezcan de dichos comités con los delegados de prevención
- La impartición de instrucciones
- El establecimiento conjunto de medidas específicas de prevención de los riesgos existentes en el centro de trabajo que puedan afectar a los trabajadores de las empresas concurrentes o de procedimientos o protocolos de actuación
- La presencia en el centro de trabajo de los recursos preventivos de las empresas concurrentes
- La designación de una o más personas encargadas de la coordinación de las actividades preventivas
- Al establecer los medios de coordinación se tendrán en cuenta el grado de peligrosidad de las actividades que se desarrollen en el centro de trabajo, el número de trabajadores de las empresas presentes en el centro de trabajo y la duración de la concurrencia de las actividades desarrolladas por tales empresas

**Designación del coordinador de las actividades preventivas**

- Dependiendo del número de empresas y trabajadores concurrentes, del tipo de actividades desarrolladas, de las características del centro de trabajo o por otras razones, el empresario no siempre está en condiciones de cumplir la obligación de coordinación por sí solo. La responsabilidad de coordinación deberá ser asumida por el coordinador.
- El empresario titular del centro de trabajo cuyos trabajadores desarrollen actividades en él, designará a la persona o las personas encargadas de la coordinación de las actividades preventivas.
- La función del coordinador consiste básicamente en favorecer el cumplimiento de los objetivos de la coordinación y servir de cauce para el intercambio de informaciones que deben intercambiarse las empresas concurrentes en el centro de trabajo.
- Las obligaciones del empresario o del coordinador comprenden, en particular, la realización de visitas sobre el terreno y reuniones de coordinación, así como la planificación, el control y, en su caso, reprogramación de las operaciones en respuesta a disfunciones.
- En razón de la responsabilidad específica de planificación, seguridad y organización, el empresario o el coordinador deberán poseer las siguientes cualificaciones en materia de protección contra explosiones:
  - o conocimientos específicos en el ámbito de la protección contra explosiones
  - o conocimientos específicos en materia preventiva
  - o conocimiento de la estructura organizativa de la empresa
  - o capacidad directiva para imponer la ejecución de las disposiciones necesarias



***Medidas de protección para la colaboración segura***

- En empresas con atmósferas explosivas peligrosas, la colaboración puede producirse a diferentes niveles y en todos los sectores. Por consiguiente, a la hora de determinar y ejecutar medidas para prevenir los riesgos mutuos será necesario tener en cuenta toda actividad realizada por personas conjuntamente o a proximidad, o en interacción a determinada distancia (por ejemplo, al trabajar en la misma tubería o el mismo circuito eléctrico en emplazamientos diferentes).
- Las medidas de coordinación para la protección contra explosiones suelen estar incluidas en las obligaciones generales de coordinación:
  - o durante la fase de planificación,
  - o durante la fase de ejecución y
  - o una vez terminados los trabajos.
- Para comprobar si durante la ejecución de los trabajos se realizan las medidas de seguridad convenidas, si las personas participantes están suficientemente informadas y si se comportan de conformidad con las medidas de seguridad acordadas, se puede utilizar una lista de comprobación.



## 5. Directiva 94/9 CE

### APARATOS Y SISTEMAS DE PROTECCIÓN PARA USO EN ATMÓSFERAS POTENCIALMENTE EXPLOSIVAS

**Real Decreto 400/1996, de 1 de marzo, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo 94/9/CE, relativa a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas. BOE Nº 85 de 8 de abril de 1996.**

La pertenencia a la Unión Europea exige que los Estados miembros pongan en vigor las disposiciones necesarias para la aplicación de las Directivas Comunitarias.

Con fecha 23 de marzo de 1994, el Parlamento Europeo y el Consejo aprobaron la Directiva 94/9/CE, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas.

#### Ámbito de aplicación

El Real Decreto 400/1996 se aplica a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas.

Se aplica, asimismo, a los dispositivos de seguridad, control y reglaje destinados a utilizarse fuera de atmósferas potencialmente explosivas, pero que son necesarios, o que contribuyen al funcionamiento seguro de los aparatos y sistemas de protección, en relación con los riesgos de explosión.

Según lo establecido en el RD respecto a aparatos y sistemas de protección para uso en atmósfera potencialmente explosiva:

- a. Se entenderá por aparatos, las máquinas, los materiales, los dispositivos fijos o móviles, los órganos de control y la instrumentación, los sistemas de detección y prevención que, solos o combinados, se destinan a la producción, transporte, almacenamiento, medición, regulación, conversión de energía y transformación de materiales y que, por las fuentes potenciales de ignición que los caracterizan, pueden desencadenar una explosión.
- b. Se entenderá por sistemas de protección, los dispositivos, distintos de los componentes de los aparatos definidos anteriormente, cuya función es la de detener inmediatamente las explosiones incipientes y/o limitar la zona afectada por una explosión, y que se comercializan por separado como sistemas con funciones autónomas.
- c. Se entenderá por «componentes», las piezas que son esenciales para el funcionamiento seguro de los aparatos y sistemas de protección, pero que no tienen función autónoma.

Quedan excluidos del ámbito de aplicación del RD:

- a. Los dispositivos médicos para uso en un entorno sanitario.
- b. Los aparatos y sistemas de protección cuando el peligro de explosión se deba exclusivamente a la presencia de sustancias explosivas o sustancias químicas inestables.
- c. Los equipos destinados a usos en entornos domésticos y no comerciales, donde las atmós-



feras potencialmente explosivas se crean muy rara vez, únicamente como consecuencia de una fuga fortuita de gas.

d. Los equipos de protección individual que están regulados por el Real Decreto 1407/1992, de 20 de noviembre, modificado por el Real Decreto 159/1995, de 3 de febrero, de aplicación de la Directiva 89/686/CEE.

e. Los navíos marinos y las unidades móviles «offshore», así como los equipos a bordo de dichos navíos o unidades.

f. Los medios de transporte, es decir, los vehículos y sus remolques destinados únicamente al transporte de personas por vía aérea, red vial, red ferroviaria o vías acuáticas, y los medios de transporte, cuando estén concebidos para el transporte de mercancías por vía aérea, red vial pública, red ferroviaria o vías acuáticas. No estarán excluidos los vehículos destinados al uso en una atmósfera potencialmente explosiva.

g. Los equipos contemplados en el párrafo b) del apartado 1 del artículo 223 del Tratado de Roma.

Los aparatos, sistemas de protección y dispositivos contemplados en el RD, solamente podrán comercializarse y ponerse en servicio si no comprometen la seguridad ni la salud de las personas ni, en su caso, de los animales domésticos o de los bienes, cuando dichos aparatos y sistemas se encuentren instalados y mantenidos convenientemente y se utilicen conforme con su destino.

#### **Marcado CE**

El fabricante deberá fijar el marcado CE sobre los aparatos, sistemas de protección y dispositivos mencionados en el apartado 2 del artículo 1 de manera clara, visible, legible e indeleble, como complemento de lo dispuesto en el apartado 1.5 del anexo II.

Se considerarán conformes con las disposiciones del Real Decreto:

a. Los aparatos, sistemas de protección y dispositivos contemplados en el artículo 1 que vayan acompañados de la declaración CE de conformidad a que se refiere el anexo X y estén provistos del marcado CE que se describe en el artículo 10 del RD.

b. Los componentes a que se refiere el artículo 4, acompañados de la declaración escrita de conformidad según lo dispuesto en el apartado 3 del artículo 8.

Cuando el fabricante se base en una norma UNE u otra norma nacional de un Estado miembro, deben recoger las disposiciones de una norma armonizada, los aparatos, sistemas de protección, dispositivos o componentes que se hayan fabricado con arreglo a dicha norma, que por tanto presumirán conformes con los requisitos de seguridad y salud contemplados en la misma.

El procedimiento a seguir para determinar dicha conformidad, se basa en la evaluación del riesgo de ignición de las atmósferas potencialmente explosivas. Siendo muy recomendable que el fabricante siga las normas EN 1127 y EN 13463.

En función de la probabilidad de aparición de fuentes de ignición el fabricante elegirá la categoría más apropiada para su equipo, teniendo en cuenta las fuentes de ignición que aparecerán durante la parada y arranque del equipo así como durante el funcionamiento.

Así pues se pueden diferenciar entre Categoría 1,2 y 3 siendo:

Equipos de Categoría 1 equipos con un alto nivel de seguridad por no tener fuentes de ignición efectivas ni en funcionamiento normal, ni en fallo previsible ni en caso de fallo raro.

Equipos de categoría 2 son equipos con un nivel de seguridad alto ya que no tienen fuentes de ignición efectivas ni en funcionamiento normal, ni en fallo previsible.

Equipos de categoría 3 son equipos con un nivel de seguridad normal ya que no tienen fuentes de ignición efectivas durante su funcionamiento normal.

- El fabricante marcará en la placa junto al marcado CE la categoría del equipo así como la posibilidad de usarlo en atmósferas potencialmente explosivas por Polvo mediante una “D” y gas “G” o ambos “GD”
- El fabricante elaborará un expediente técnico que incluya los resultados de la evaluación



de riesgos, datos y cálculos de diseño, planos y detalles. El expediente técnico será custodiado durante un mínimo de 10 años. En función de lo indicado en el RD la custodia será realizada bien por el usuario bien por un Organismo Notificado.

- En aquellos casos que sea necesario el fabricante dispondrá de un certificado de conformidad emitido por un Organismo Notificado.
- El fabricante entregará un manual de instrucción en el idioma del país de uso y copia del original en idioma oficial de la UE. El manual de instrucción indicará todas aquellas limitaciones de uso y condiciones especiales de utilización que permitan al usuario operar el equipo de forma segura.
- El fabricante adjuntará con el equipo una declaración de conformidad con la Directiva 94/9 CE.

### ***Procedimientos de evaluación de la conformidad de los aparatos***

1. Los procedimientos de evaluación de la conformidad de los aparatos, incluidos, si es necesario, son los siguientes:

#### **a. Grupo de aparatos I y II; categoría de aparatos M1 y 1.**

Para la fijación del marcado CE, el fabricante o su representante establecido en la Comunidad deberá seguir el procedimiento de examen CE tipo (recogido en el anexo III) en combinación, según su elección, con el procedimiento relativo a la garantía de calidad de la producción (recogido en el anexo IV), o el procedimiento relativo a la verificación de los productos (recogido en el anexo V).

#### **b. Grupo de aparatos I y II; categoría de aparatos M2 y 2.**

Para los motores de combustión interna y para los aparatos eléctricos de dichos grupos y categorías, el fabricante o su representante legalmente establecido en la Comunidad, a efectos de la fijación del marcado CE, deberá seguir el procedimiento de examen CE tipo (recogido en el anexo III) en combinación con el procedimiento relativo a la conformidad con el tipo (recogido en el anexo VI), o bien el procedimiento relativo a la garantía de calidad del producto (recogido en el anexo VII).

Para los demás aparatos de dichos grupos y categorías, el fabricante o su representante legalmente establecido en la Comunidad, a efectos de la fijación del marcado CE, deberá seguir el procedimiento relativo al control interno de la fabricación (recogido en el anexo VIII), y comunicar el expediente previsto en el apartado 3 del anexo VIII a un organismo notificado, que acusará recibo de dicho expediente lo antes posible y que lo conservará.

#### **c. Grupo de aparatos II; categoría de aparatos 3.**

Para la fijación del marcado CE, el fabricante o su representante legalmente establecido en la Comunidad deberá seguir el procedimiento relativo al control interno de la fabricación (recogido en el anexo VIII).

#### **d. Grupo de aparatos I y II.**

Además de los procedimientos a los que se refieren los anteriores párrafos a), b) y c), a efectos de la fijación del marcado CE, el fabricante o su representante establecido en la Comunidad podrá optar por seguir también el procedimiento de verificación CE por unidad (recogido en el anexo IX).

2. Para los sistemas de protección con función autónoma, la conformidad deberá establecerse con arreglo a lo dispuesto en el apartado 1 b) ó 1 d).

3. Los procedimientos mencionados en el apartado 1 se aplicarán a los componentes contemplados en el apartado 2 del artículo 4 excepto en lo que se refiere a la fijación del marcado CE. El fabricante o su representante legalmente establecido en la Comunidad expedirá un certificado que declare la conformidad de dichos componentes con las disposiciones de la Directiva que le son aplicables y que indique las características de dichos componentes y las condiciones de incorporación a un aparato o sistema de protección que contribuyen al respeto de los requisitos esenciales aplicables a los aparatos o sistemas de protección acabados.

4. Además, para la fijación del marcado CE, el fabricante o su representante establecido en la Comunidad Europea podrá seguir el procedimiento relativo al control interno de la fabricación (recogido en el anexo VIII) por lo que se refiere a los aspectos de seguridad mencionados en el apartado 3.7 del anexo II.





## 6. Clasificación de zonas por polvo

### 6.1 Consideraciones previas

Las atmósferas explosivas se forman sólo en concentración de polvo dentro de los límites de explosión. Téngase en cuenta que nubes de polvo en concentraciones muy elevadas no son explosivas, pudiendo existir riesgo en el caso de disminuir la concentración. Por esto mismo, se puede concluir que no todas las fuentes de escape producen atmósferas explosivas.

El polvo no extraído del sistema puede formar capas que diluidas en aire darán lugar a una atmósfera explosiva.

La clasificación de zonas se hace en función de la probabilidad de que aparezca una atmósfera explosiva y parte de su importancia radica en la posterior elección de equipos con un nivel de protección apropiado, de manera que la probabilidad de coincidencia en el tiempo de una atmósfera explosiva y una fuente de ignición sea tan baja que pueda ser aceptable.

### 6.2 Procedimiento para la clasificación de zonas de atmósferas explosivas por polvo

En primer lugar hay que comprobar si el polvo es combustible. La combustibilidad se puede determinar mediante IEC 60079-20-2. También es necesario conocer el resto de parámetros que influyen en la explosividad de un producto como pueden ser la granulometría, humedad, friabilidad, etc.

Otro parámetro muy importante es conocer los procesos y parámetros de operación de la planta en cuestión, como por ejemplo frecuencia de mantenimiento y limpieza de la instalación.

El siguiente paso es, identificar puntos donde se produce el polvo o procesos en los que el polvo esté en concentraciones dentro de los límites de explosividad. Es de gran ayuda consultar los planos y esquemas de proceso.

Por último, habría que estimar la frecuencia con que se producen escapes de polvo o las capas de polvo se ponen en suspensión.

Para la obtención de conclusiones en función de los parámetros de estudio, es recomendable la opinión de un experto que determine las zonas, en función de la probabilidad de formación de nubes o capas de polvo que se puedan poner en suspensión.

Una vez se han tenido en cuenta todos los parámetros anteriormente descritos es posible determinar la zona y su extensión. Es habitual, incluir los resultados en planos de clasificación que además servirán para hacer la evaluación de fuentes de ignición.

En el informe de clasificación de zonas se deben incluir notas que mejoren la comprensión de decisiones tomadas en cuanto a tipo de zona y extensión.



La clasificación de zonas se debe revisar cada vez que se introduzcan cambios en el proceso, materias primas o se produzcan más fuentes de escape debido al deterioro de la instalación.

## 6.3 Identificación de Fuentes de escape

Para la identificación de fuentes de escape se hace necesario conocer el funcionamiento de los equipos, condiciones de proceso tanto en funcionamiento normal como en funcionamiento anormal, en arranques y paradas. También se hace necesario, diferenciar entre fuentes de escape en el exterior de equipos o recipientes y en el interior.

En el interior de equipos y recipientes las atmósferas explosivas se consideran como parte del proceso, siendo habitual la formación de atmósferas explosivas de forma continua. En otros casos, la aparición de atmósferas explosivas de forma continua dependerá de la frecuencia de uso del equipo. En el interior de equipos es normal la formación de capas de polvo en paredes, repisas etc. Por lo que es también necesario, estudiar la frecuencia con la que estas capas de polvo se forman y se ponen en suspensión formando atmósferas explosivas.

En el exterior de equipos y recipientes hay muchos factores que pueden afectar a la clasificación de zonas.

En aquellos sistemas que trabajan en presión positiva, la posibilidad de fuentes de escape de polvo al exterior será mayor cuanto mayor es la presión. Por otro lado, en sistemas que trabajan en depresión la probabilidad de aparición de fuentes de escape se reduce significativamente.

El tamaño de partícula, humedad y donde sean de aplicación factores como velocidad de transporte, caudales de llenado y vaciado, tienen gran influencia en la probabilidad de aparición de fuentes de escape.

Una vez conocidos los puntos de formación de fuentes de escape se deben clasificar en función del grado o frecuencia de aparición:

### **Grado de escape continuo:**

Donde las nubes de polvo existen de forma continua o pueden estar presentes durante largos periodos de tiempo o cortos periodos de tiempo que ocurren frecuentemente.

### **Grado de escape primario:**

Escape que se espera ocurra de forma periódica u ocasionalmente durante operación normal.

### **Grado de escape secundario:**

Escape que no se espera que ocurra en operación normal pero si ocurriera sería de forma infrecuente y por corto espacio de tiempo

## 6.4 Clasificación por Zonas

Las áreas clasificadas por atmósferas explosivas debidas a polvo se dividen en zonas, las cuales hacen referencia a la frecuencia y duración de las atmósferas explosivas.

### **Zona 20**

Lugar en el que una atmósfera explosiva por polvo, en forma de nube de polvo en aire está presente de forma continua o por largos periodos o frecuentemente.

### **Zona 21**

Lugar en el que una atmósfera explosiva por polvo, en forma de nube de polvo en aire es probable que ocurra de forma ocasional durante operación normal.

### **Zona 22**

Lugar en el que una atmósfera explosiva por polvo, en forma de nube de polvo en aire no es probable que ocurra durante operación normal, pero en caso de ocurrir se dará por un periodo de tiempo corto.

Nota: Capas, depósitos y montones de polvo se deben considerar como cualquier otra fuente de escape que produzca una atmósfera explosiva.



*Tabla 2. Zonas en función del grado de escape*

Presencia de Polvo	Zona
Formación continua de nubes o escapes de polvo	20
Grado primario de escape	21
Grado secundario de escape	22

**Extensión**

La extensión de una zona por atmósfera de polvo explosiva se define como la distancia en cualquier dirección desde la fuente de escape, hasta el punto donde el riesgo asociado con esa zona se considera que no existe más. Se considerará la no existencia de atmósfera explosiva, si ésta se mantiene por debajo de los límites de explosividad con un cierto margen de seguridad.

Si en un recinto hay zonas clasificadas atendiendo a diversas fuentes de escape y la distancia entre dichas zonas no es significativa, entonces se clasificará todo el recinto.

**Zona 20**

La zona 20 es habitual en el interior de conductos y equipos de producción y manejo que en su interior se produzca una atmósfera de polvo de forma continua. También se clasificarán como 20, los recintos abiertos en los que se den atmósferas de polvo de forma continua.

**Zona 21**

En la mayoría de los casos, se determina la extensión de zonas 21 evaluando las fuentes de escape causantes de atmósferas pulverulentas.

Es habitual encontrar zonas 21 en el interior de equipos de manejo de polvo, en la que es probable que ocurra una atmósfera explosiva. También en el exterior de equipos con fuentes de escape de grado primario. El grado primario de escape dependerá de concentración de polvo, caudales, tamaño de partícula y humedad. La extensión necesita ser determinada en cada caso concreto. La extensión de zonas 21 en el exterior de edificios, depende en gran medida de factores ambientales como el viento y la lluvia.

Normalmente se considerará suficiente 1m de extensión, desde la fuente de escape hasta el suelo.

Si existen limitaciones mecánicas que impidan la propagación de la atmósfera explosiva, se tomarán éstas como límites de la extensión clasificada.

**Zona 22**

En la mayor parte de casos se determina la zona 22 evaluando las fuentes de escape de grado secundario.

La extensión de una zona 22 dependerá de distintos parámetros como concentración de polvo, caudal, tamaño de partícula y humedad.

Una zona 21 no confinada en el interior de un recinto generará normalmente a su alrededor una zona 22. Generalmente se considerará suficiente una extensión de 3 m alrededor de una zona 21.

La extensión y frecuencia de aparición de fuentes de escape se debe limitar y/o reducir mediante limpieza y mantenimiento en la instalación.

Así pues se pueden diferenciar tres niveles de limpieza:

**Buena:** La capa de polvo es de espesor despreciable o no existe, independientemente del grado de escape. No hay riesgo de aparición de atmósferas explosiva y tampoco de incendio por autocombustión.

**Mala:** Las capas de polvo no son despreciables pero son de corta duración, menos de un turno. El polvo se limpia antes de que pueda entrar en autocombustión.

**Pobre:** Las capas de polvo no son despreciables y duran más de un turno. El riesgo de incendio puede ser considerable. En las instalaciones con limpieza pobre se tendrá en cuenta la posibilidad de que las capas de polvo se pongan en suspensión.



### **Documentación**

El informe de clasificación de zonas se recomienda que incluya la siguiente documentación:

- Guías y estándares utilizados
- Evaluación de la dispersión del polvo en cada fuente de escape
- Parámetros del proceso que influyan en la formación de atmósferas pulverulentas y capas de polvo
- Parámetros de operación y mantenimiento
- Programas de limpieza
- Los resultados de la clasificación de zonas
- Información sobre las propiedades de los productos:  
Temperatura de ignición en nube, temperatura de ignición en capa, energía mínima de ignición, grupo de polvo, límites de explosividad, resistencia eléctrica, contenido en humedad, tamaño de partícula.
- Dibujos, tablas que indiquen la extensión de zonas

## **6.5 Ejemplos de Clasificación por Zonas**

Los siguientes ejemplos de clasificación de zonas son orientativos. Debido a la cantidad de factores que pueden afectar a la clasificación de zonas será necesario realizar un estudio detallado de cada instalación. Debido a la complejidad de clasificar zonas con probabilidad de formación de atmósfera explosiva por polvo, se aconseja que ésta sea realizada por un técnico experimentado.

### **Tolva de Recepción**

La clasificación de zonas en tolvas de recepción dependerá básicamente de la disponibilidad o no de un sistema eficaz de captación de polvo, así como de la existencia de cortinas u otros medios que impidan la propagación del polvo.

Es por tanto razonable considerar zona 20 el interior de la tolva y todo el recinto delimitado por cortinas. Fuera de las cortinas puede considerarse zona 21 ó incluso 22 en el caso de tener aspiración localizada y una buena limpieza de la instalación.

En tolvas de recepción sin sistema de aspiración y sin cortinas se considerará zona 20 en el interior y 3m alrededor de ésta. Alrededor de la zona 20, se considerará zona 21 en el primer metro y zona 22 en los 3 m alrededor de la zona 21.

### **Elevadores de Cangilones**

En elevadores de cangilones que dispongan de un sistema de captación de polvo eficaz se considerará el exterior de este desclasificado, siempre y cuando se mantenga un buen nivel de limpieza en las inmediaciones.

El interior se clasificará como zona 20 en todos aquellos elevadores que transporten productos con más de 3% de polvo. En elevadores que transporten productos con menos de 3% de polvo y que dispongan de un sistema de captación eficaz, podrán clasificarse como zona 21.

### **Transportadores de Cadena**

Por lo general, los transportadores de cadena son equipos cuya velocidad de transporte es normalmente reducida, por lo que en caso de transportar productos pulverulentos podrán clasificarse en su interior zona 21 pudiendo ser 22, en todo su recorrido salvo en carga y descarga, si disponen de sistemas de captación de polvo eficaces.

Los transportadores de cadena que transporten productos granulares poco pulverulentos podrán clasificarse en todo su interior zona 22.

En cuanto a la clasificación exterior decir que transportadores en cuyo interior existe zona 21 y que dispongan de sistemas de captación localizada eficaz, podrán quedar desclasificados en su exterior. Sin embargo, los transportadores con zona 22 interior podrán quedar desclasificados en su exterior. En el resto de casos, deberá tenerse en cuenta como mínimo zona 22.



La desclasificación exterior en cualquier caso, queda condicionada al mantenimiento de una limpieza en la instalación.

### Transportadores de Tornillo

Es habitual encontrar transportadores de tornillo cuyo nivel de carga impide la formación de atmósfera explosiva durante condiciones normales. En estos casos podrá considerarse zona interior 22, salvo en la boca de carga y descarga que en el caso de transportar productos pulverulentos se considerará como mínimo zona 21.

En cuanto a la clasificación exterior decir que transportadores en cuyo interior existe zona 21 y que dispongan de sistemas de captación localizada eficaz, podrán quedar desclasificados en su exterior. Sin embargo, los transportadores con zona 22 interior podrán quedar desclasificados en su exterior. En el resto de casos, deberá tenerse en cuenta como mínimo zona 22.

La desclasificación exterior en cualquier caso queda condicionada al mantenimiento de una limpieza en la instalación.

### Molino de Martillos

Debido al objetivo propio de los sistemas de molienda que consiste en reducir de tamaño, es habitual encontrar gran cantidad de polvo en el interior, estando en la mayor parte de casos dentro del rango de explosividad. Es por esto que generalmente se considerará zona 20 en su interior, independientemente de si dispone de captación de polvo o no.

En el exterior de molinos de martillos podrá considerarse zona 21 ó 22, en función de la disponibilidad de un sistema de captación eficaz o no.

En cualquier caso la clasificación exterior queda sujeta a las condiciones de limpieza del recinto.

### Filtro de Mangas

Por lo general, se considera zona 20 en el interior de la cámara sucia. Podrá considerarse zona 21 en aquellos filtros en los que el aire a filtrar contenga una concentración de polvo por debajo de la explosiva y cuya frecuencia de limpieza de mangas sea baja.

En cuanto a la cámara limpia es normalmente considerada como zona 22.

La clasificación exterior de los filtros de mangas dependerá de si éstos trabajan en presión positiva o negativa.

Aquellos filtros de mangas que trabajan en presión negativa y cuya limpieza de recinto exterior es buena podrán considerarse como desclasificados.

### Silos

La clasificación de zonas en silos dependerá entre otros factores de la frecuencia de carga y del porcentaje de polvo que el producto a almacenar contenga.

Así pues, en silos que almacenan productos pulverulentos y con una frecuencia de carga baja, se considerarán como zona 20.



La clasificación exterior dependerá de la disponibilidad de aspiración localizada y de las condiciones de limpieza exteriores. Siendo habitual encontrar zona 22 en una extensión de entre 1 a 3m alrededor de las salidas del aire de expansión.

**ILUSTRACIÓN 1.**  
*Exterior de Silos  
Zona Desclasificada  
(Por cortesía de Nanta)*





## 7. Fuentes de ignición

A continuación, se describen las fuentes de ignición más habituales en las instalaciones industriales y que son necesarias analizar a la hora de realizar la evaluación de riesgo de explosión, siendo además muy importante tener en cuenta las chispas generadas durante tareas de mantenimiento y limpieza. Si no se puede estimar la probabilidad de que existan fuentes de ignición, se debe suponer que la fuente de ignición está siempre presente.

Las fuentes de ignición se clasifican tanto para equipos como instalaciones en función de la probabilidad de que aparezcan, de la manera siguiente:

- a) fuentes de ignición que pueden aparecer en funcionamiento normal;
- b) fuentes de ignición que pueden aparecer solamente como consecuencia de disfunción previsible;
- c) fuentes de ignición que pueden aparecer solamente como consecuencia de disfunción rara.

Las diferentes fuentes de ignición a considerar son:

### **Superficies calientes**

Las superficies calientes pueden producir la ignición de una atmósfera explosiva tanto por polvo en suspensión como por gas, al entrar en contacto. También decir que una capa de polvo o un sólido combustible en contacto con una superficie caliente e inflamada por ésta, puede actuar también como fuente de ignición de una atmósfera explosiva.

La capacidad de una superficie caliente de producir la ignición depende del tipo y concentración de la sustancia concreta en la mezcla con el aire. Esta capacidad se hace más grande a medida que aumenta la temperatura y la extensión de la superficie. Además, la temperatura que inicia la ignición depende del tamaño y de la forma del cuerpo caliente, del gradiente de concentración en la proximidad de la superficie y, hasta cierto punto, también de la superficie del material.

Si la atmósfera explosiva permanece en contacto con la superficie caliente durante un periodo de tiempo relativamente largo, se pueden producir reacciones preliminares, por ejemplo llamas frías, de manera que se forman productos de descomposición más fácilmente inflamables, que pueden provocar la ignición de las atmósferas originales.

Pueden dar lugar a temperaturas peligrosas, por ejemplo radiadores, estufas, calderas, tuberías de vapor, máquinas, embragues, frenos mecánicos, vehículos, etc. Además, todas las partes móviles de los rodamientos, pasos de ejes, prensaestopas, etc. pueden llegar a ser fuentes de ignición si no están suficientemente lubricadas. En las envolventes estancas que contienen partes móviles, la entrada de cuerpos extraños o el desplazamiento del eje, pueden también provocar fricciones que, a su vez, pueden dar lugar a temperaturas superficiales elevadas.

### **Llamas y gases calientes (incluyendo partículas calientes)**

Las llamas están asociadas a las reacciones de combustión a temperaturas superiores a 1000 °C. Como productos de la reacción se obtienen gases calientes e incluso partículas incandescentes.



Las llamas, sus productos calientes de reacción y los gases a alta temperatura, pueden producir la ignición de una atmósfera explosiva. Las llamas, incluso las de pequeño tamaño, se encuentran entre las fuentes de ignición más efectivas.

Las proyecciones de soldadura que se producen durante las operaciones de soldeo o de oxi-corte, son chispas de superficie muy grande y por tanto, se encuentran entre las fuentes de ignición más efectivas.

### **Chispas de origen mecánico**

Como resultado de operaciones de fricción, de choque y de abrasión, tales como el amolado, se pueden desprender partículas de los materiales sólidos y calentarse debido a la energía disipada en el proceso de separación.

Estas chispas pueden producir la ignición de gases y vapores combustibles y algunas mezclas polvo/aire. En polvo depositado, las chispas pueden iniciar un fuego latente y éste puede ser la fuente de ignición de una atmósfera explosiva.

Se debe tener en cuenta la entrada de materiales extraños en los equipos, como piedras o trozos de metal, capaces de producir chispas.

La fricción entre metales férreos análogos puede dar lugar a puntos calientes y a chispas comparables a las chispas del amolado. Éstas pueden dar lugar a la ignición de atmósferas explosivas.

Los choques entre acero y metales ligeros (por ejemplo, aluminio y magnesio) y sus aleaciones, pueden iniciar una reacción aluminotérmica que puede dar lugar a la ignición de atmósferas explosivas.

### **Material eléctrico**

En el caso de material eléctrico, se pueden producir chispas eléctricas y superficies calientes. Las chispas eléctricas se pueden producir, por ejemplo:

- al abrir o cerrar circuitos eléctricos;
- en las conexiones flojas;
- por corrientes parásitas

### **Corrientes eléctricas parásitas, protección contra la corrosión catódica**

Las corrientes parásitas pueden circular en sistemas eléctricamente conductores o por partes de dichos sistemas como:

- corrientes de retorno en instalaciones generadoras de potencia especialmente en la proximidad de trenes eléctricos.
- consecuencia de un cortocircuito o de una puesta a tierra accidental debido a fallos en las instalaciones eléctricas.
- consecuencia de un rayo.

Si las partes de un sistema capaz de conducir las corrientes parásitas se desconectan, se conectan o se puentean, incluso en el caso de pequeñas diferencias de potencial, se producen chispas eléctricas y/o arcos que pueden producir la ignición de una atmósfera explosiva.

Si se utiliza la protección contra la corrosión catódica por inducción de una contracorriente, también son posibles los riesgos de ignición mencionados anteriormente.

### **Electricidad estática**

En condiciones determinadas, se pueden producir descargas de electricidad estática capaces de dar lugar a inflamaciones (véase el Informe CLC/TR 50404). La descarga de partes conductoras aisladas y cargadas, puede conducir fácilmente a chispas capaces de producir la ignición. Con partes cargadas de material no conductor, lo que incluye la mayoría de las materias plásticas, así como algunos otros materiales, se pueden producir descargas en peine y, en casos particulares, en procesos de separación rápida (por ejemplo, películas en movimiento sobre rodillos, correas de transmisión o por combinación de materiales conductores o no conductores), también es posible que se produzcan descargas en haces deslizantes.



También se pueden producir descargas tipo cono, en el llenado de silos y tolvas con materiales a granel y descargas en nube.

Las descargas en peine pueden producir la ignición de casi todas las atmósferas explosivas de gases y vapores, pero solamente producirán la ignición de las atmósferas explosivas por polvo con energías de inflamación muy bajas.

Las chispas debidas a descargas de haces deslizantes, descargas en cono y en nube, pueden producir la ignición de todos los tipos de atmósferas explosivas, tanto por gas como por polvo.

## **Rayo**

Si el rayo descarga en una atmósfera explosiva, la ignición se producirá siempre. Además, también existe la posibilidad de ignición debido a la alta temperatura que alcanzan los elementos que conducen el rayo.

Corrientes importantes fluyen desde el lugar en el que descarga el rayo y estas corrientes pueden producir chispas en la proximidad del punto de impacto. Incluso en ausencia de rayos, las tormentas pueden inducir tensiones importantes en los equipos y estructuras.

## **Ondas electromagnéticas de radiofrecuencia (RF), de 104 Hz a $3 \times 10^{12}$ Hz**

Todos los sistemas que producen y utilizan energías eléctricas de alta frecuencia (sistemas de radiofrecuencia) emiten ondas electromagnéticas, por ejemplo, los emisores de radio o los generadores RF médicos o industriales para calentamiento, secado, endurecimiento, soldeo, oxicrote, etc.

Todas las partes conductoras situadas en el campo electromagnético se comportan como antenas receptoras. Si el campo es suficientemente potente y si la antena tiene dimensiones suficientes, dichas partes conductoras pueden producir la ignición de atmósferas explosivas. La potencia de radiofrecuencia recibida, puede causar, por ejemplo, el enrojecimiento de hilos finos o la generación de chispas durante el contacto o la interrupción de partes conductoras. La energía absorbida por la antena receptora, que puede producir la ignición, depende principalmente de la distancia entre el emisor y la antena receptora, así como de las dimensiones de la antena receptora, para una longitud de onda y una potencia RF dadas.

## **Ondas electromagnéticas de $3 \times 10^{11}$ Hz a $3 \times 10^{15}$ Hz**

La radiación en este rango del espectro, especialmente cuando está concentrada, puede constituir una fuente de ignición a través de la absorción por las atmósferas explosivas o por las superficies sólidas. Se señala que cualquier aparato, sistema de protección y componente que genera radiaciones (por ejemplo, las lámparas, los arcos eléctricos, los láseres, etc.) puede ser, en sí mismo, una fuente de ignición.

## **Ultrasonidos**

Cuando se utilizan ondas de ultrasonidos, una gran cantidad de la energía emitida por el emisor electroacústico se absorbe por sustancias sólidas o líquidas. Como resultado, la sustancia expuesta a los ultrasonidos se calienta de tal manera que, en situaciones extremas, se puede producir la ignición.

## **Reacciones exotérmicas, incluyendo la autoignición de polvos**

Las reacciones exotérmicas pueden actuar como una fuente de ignición cuando la velocidad de desprendimiento de calor es superior a la velocidad de evacuación de calor hacia el exterior. Muchas reacciones químicas son exotérmicas.

Las reacciones de autocalentamiento pueden darse debido a procesos biológicos, de descomposición de peróxidos orgánicos o de reacciones de polimerización. Las temperaturas elevadas que se producen pueden entrañar la ignición de atmósferas explosivas y también la iniciación de un fuego latente y/o de una combustión.



Consideraciones:

- 1) Algunas reacciones químicas en los procesos biológicos pueden conducir a la producción de sustancias inflamables que, a su vez, pueden formar una atmósfera explosiva con el aire ambiente.
- 2) Para la determinación del comportamiento a la autoignición de acumulaciones de polvos véase la Norma EN 15188.

### **Frecuencia de aparición de fuentes de ignición:**

#### ***Superficies calientes:***

Pueden producirse superficies calientes por roces entre partes móviles y fijas de equipos utilizados como consecuencia de una disfunción previsible. Por ejemplo roce de banda transportadora y chasis o sobrecalentamiento de motores y rodamientos.

#### ***Llamas y gases calientes:***

Pueden producirse como consecuencia de trabajos de mantenimiento por soldadura, corte etc. Si la planta dispone de un sistema de permisos de trabajo implantado se considerará que esta fuente de ignición se producirá en fallo raro del sistema. La emisión de chispas incandescentes por parte de motores de combustión interna se considerará como fallo previsible en ausencia de medidas de prevención específicas.

#### ***Chispas de origen mecánico:***

Uso de herramientas que puedan producir chispas en fallo raro del sistema de permisos de trabajo, así como choque de objetos extraños que se introducen en el sistema como consecuencia de una disfunción previsible.

#### ***Electricidad estática:***

Mal funcionamiento del sistema de puesta a tierra o descarga de elementos no conductores. Este tipo de descargas se producirán como disfunción previsible del sistema de puesta a tierra.

#### ***Partículas incandescentes:***

Producidas por autoignición del producto o por fricción entre partes fijas y móviles.

#### ***Chispas generadas por material y equipos eléctricos:***

Se entenderá que la instalación eléctrica no entraña riesgo si ésta dispone de Certificado de conformidad según REBT MIE029 emitido por una OCA. En caso contrario será necesaria una revisión en profundidad.

### **Factores que afectan a la probabilidad de ignición**

- Humedad

Productos con mayor contenido en humedad necesitarán mayor energía para conseguir su inflamación.

- Tipología

El límite superior de explosividad se suele situar por encima de 4000 g/m<sup>3</sup>.

- Temperatura

A medida que se aumenta la temperatura del polvo, éste reduce su energía de inflamación.

- Tamaño de partícula

A menor tamaño, mayor es la superficie expuesta y menor es la energía de inflamación.

***Es aconsejable realizar pruebas experimentales para predecir con precisión el comportamiento (susceptibilidad al fuego o explosión) de las mezclas en virtud de la planta.***



# 8. Evaluación del riesgo de explosión

## 8.1 Introducción

En primer lugar se estudiarán las sustancias que intervienen en la planta y se comprobarán las características físico-químicas, así como, sus índices de explosividad.

Se trata de describir las sustancias existentes y que pueden provocar la formación de una atmósfera explosiva. Sírvese de referencia para índices de explosividad la siguiente base de datos:

<http://www.dguv.de/bgia/gestis-database>

Así como, el informe sobre índices de explosividad publicado en Journal of Hazardous Materials 168 (2009) 115–120.

En segundo lugar será necesario estimar la probabilidad de formación de atmósferas potencialmente explosivas, pasando a realizar la clasificación por zonas.

El siguiente paso será determinar la probabilidad de aparición de fuentes de ignición y su capacidad para inflamar las atmósferas explosivas.

Por último se determinan las consecuencias en caso de que hubiera una explosión y se diseñan las acciones preventivas y de protección.

### Estimación de las Consecuencias de una Explosión

Para estimar las consecuencias de una explosión habrán de tenerse en cuenta distintos factores:

- Presencia de personal en la zona de influencia de la explosión
- Probabilidad de propagación de la explosión
- Si la explosión sucede en espacios abiertos o confinados

En espacios abiertos es previsible que en caso de ignición de una atmósfera explosiva se produzca una deflagración en forma de bola de fuego y su posterior incendio, por lo que los efectos sobre los trabajadores serán debidos a las llamas, siendo difícil la propagación de la explosión al resto de recintos.

De producirse la explosión en un espacio confinado además, se produciría un incremento de presión importante que puede llegar a colapsar las estructuras y equipos. En este caso la propagación de la explosión es mucho más probable y las consecuencias sobre los trabajadores dependerán de la presencia de éstos en la zona de influencia de la explosión.



## 8.2 Metodología de evaluación de riesgos

[ Texto extraído de: *Guía para la elaboración del plan de prevención contra explosiones en instalaciones de minería subterránea.*  
Ministerio de Industria, Turismo y Comercio Laboratorio Oficial  
J.M. Madariaga. Revisión 2006 ]

Cualquier metodología de evaluación de riesgos debe considerar todos los factores de riesgo, incluyendo aquellos que son inesperados. En este caso, se pretenden evaluar únicamente los riesgos derivados de la presencia de atmósferas explosivas en fábricas de pienso, y por tanto la metodología debe ir encaminada a identificar y evaluar este tipo de riesgos. Esta metodología, al igual que cualquier otra deberá plantearse las siguientes cuestiones básicas:

- ¿Qué conocemos?, ¿Cuál es el riesgo?
- ¿Prevenimos algún tipo de accidente?
- ¿Qué tipo de acciones podemos tomar?
- ¿Qué funciona mal? ¿Cuáles son las consecuencias potenciales?
- ¿Cuál sería la forma correcta de que sucediera?
- ¿Qué cambios deberíamos realizar para controlar la situación?
- ¿Qué consecuencias potenciales podemos tolerar en función de las probabilidades estimadas para cada riesgo?
- ¿Cuáles son los costes y los beneficios de tecnologías alternativas?

En la actualidad no existe ningún método específico para la evaluación de los riesgos de explosión en fábricas de piensos. El método utilizado en esta guía es el propuesto en el **Proyecto RASE (SMT4-CT97-2169) 2000, "Explosive Equipment"**, proyecto europeo que recoge una metodología básica para la evaluación de riesgos de explosión en equipos y unidades de operación para su uso en atmósferas potencialmente explosivas. Esta metodología se fundamenta en la identificación sistemática de todas las situaciones con riesgo de explosión que pueden presentarse durante el desarrollo de un proceso.

Si bien la metodología seleccionada ha sido desarrollada para la evaluación de los riesgos de explosión producidos por equipos y unidades de operación en ambientes industriales, su esquema puede extrapolarse con facilidad a fábricas de piensos siempre y cuando los trabajos contengan en su ejecución características de un proceso, es decir, existan equipos en funcionamiento entre los cuales existe alguna relación en el desarrollo de la tarea, y además se tenga la posibilidad de existencia de atmósferas explosivas en determinados momentos, producidas por la presencia de polvo inflamable en concentración variable.

El desarrollo de la metodología general de evaluación de riesgos en atmósferas explosivas propuesto se llevará a cabo en cinco pasos, estos son:

1. Determinación de la tarea a evaluar.
2. Identificación de riesgos.
3. Estimación de las consecuencias del riesgo / probabilidades.
4. Valoración del riesgo.
5. Análisis de las opciones de reducción del riesgo.

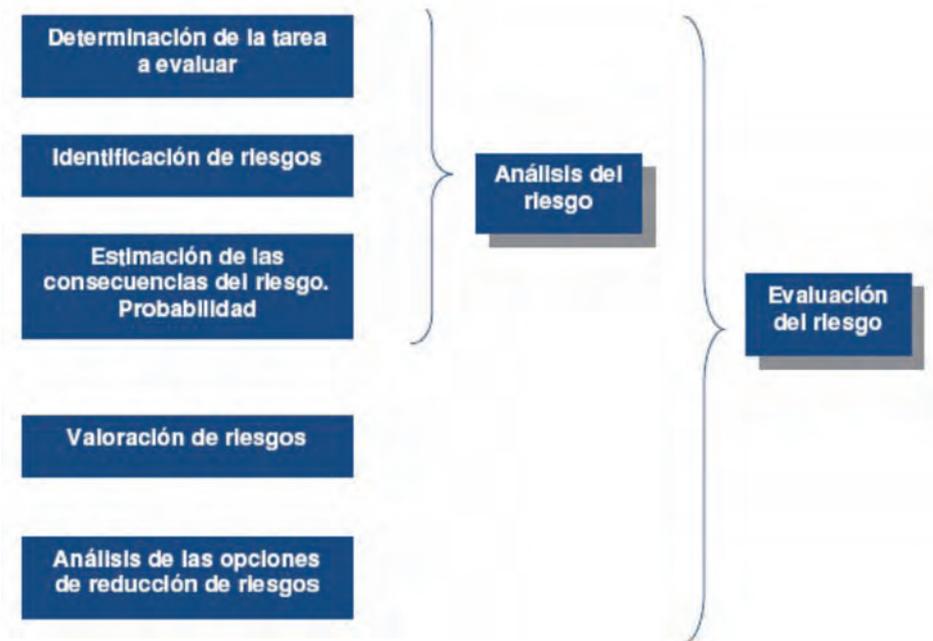
La evaluación de riesgos se debería desarrollar según el orden marcado por estos cinco pasos. El conjunto de los tres primeros pasos de la evaluación de riesgos (determinación, identificación, estimación) es conocido normalmente como análisis de riesgos.

La evaluación de riesgos es un proceso iterativo. Si después de evaluar un riesgo, se toma la decisión de que ese riesgo debe ser reducido, deberán seleccionarse que medidas de reducción será necesario tomar para reducir ese riesgo a un nivel aceptable. Es además esencial comprobar que las medidas tomadas para reducir el riesgo no introducen por si mismas nuevos peligros.

Por consiguiente, en el proceso de evaluación se introducirá un bucle de realimentación desde el proceso de análisis de las opciones de reducción de riesgos hasta el proceso de identificación.



**ILUSTRACIÓN 2.** Fases de la evaluación de riesgos



## 8.3 Determinación de la tarea a evaluar

Para comenzar el proceso de evaluación debemos empezar por entender cómo se desarrolla la tarea que estamos evaluando, cómo funcionan los equipos e instalaciones, y la forma en que puede aparecer cada posible riesgo de explosión.

Para ello, previamente deben seleccionarse de entre todas las tareas que se llevan a cabo en la explotación, aquellas en las que está presente el riesgo de explosión.

Para realizar esta selección, previamente debe haberse realizado la clasificación de la explotación en función de las condiciones atmosféricas con riesgo de explosión. Las tareas en las que está presente el riesgo serán todas aquellas que se desarrollen bajo tales situaciones. Determinación de la tarea a evaluar:

- Identificación de riesgos
- Estimación de las consecuencias del riesgo.
- Probabilidad
- Análisis del riesgo
- Valoración de riesgos
- Análisis de las opciones de reducción de riesgos
- Evaluación del riesgo

### 8.3.1 Descripción del proceso

Una vez seleccionadas todas las tareas en las que está presente el riesgo se irá analizando cada una de ellas sucesivamente. El primer paso para realizar la evaluación de riesgos de cada tarea será la descripción de ésta de la mejor forma posible, incluyendo diagramas que muestren la situación de todos los equipos e instalaciones presentes de forma clara.

Igualmente se señalarán paso a paso y de forma metódica todos los trabajos que deben ser realizados para la ejecución de la tarea que se describe.

Deberán detallarse las características (temperaturas, presiones, materiales, etc.) relacionadas con el riesgo de explosión de los equipos involucrados en el desarrollo de la tarea analizada, incluyendo en esta descripción los posibles fallos que puedan presentarse y constituir posibles fuentes de ignición.

El objetivo de este paso es detallar como suceden las cosas durante el desarrollo del proceso estudiado, de manera que pueda ser utilizado como base para el desarrollo de los dos pasos siguientes.

### 8.3.2 Análisis funcional de estados

El objeto de este paso del proceso de evaluación es detallar cómo evolucionan las sustancias inflamables durante el desarrollo de la tarea que se analiza.

Mediante este análisis se establecen las relaciones entre el estado físico de la sustancia inflamable (polvo inflamable), los equipos con los que entra en contacto y las energías que se manejan en todas las fases de operación de una determinada tarea.

En el caso de procesos complejos es una ventaja, para realizar el análisis funcional de estados, establecer un diagrama de flujo, con la inclusión de los niveles de concentración de polvo inflamable previstos para cada fase de operación. Tal diagrama ayuda a definir el estado de las sustancias explosivas presentes y la disponibilidad de los equipos en esas condiciones.

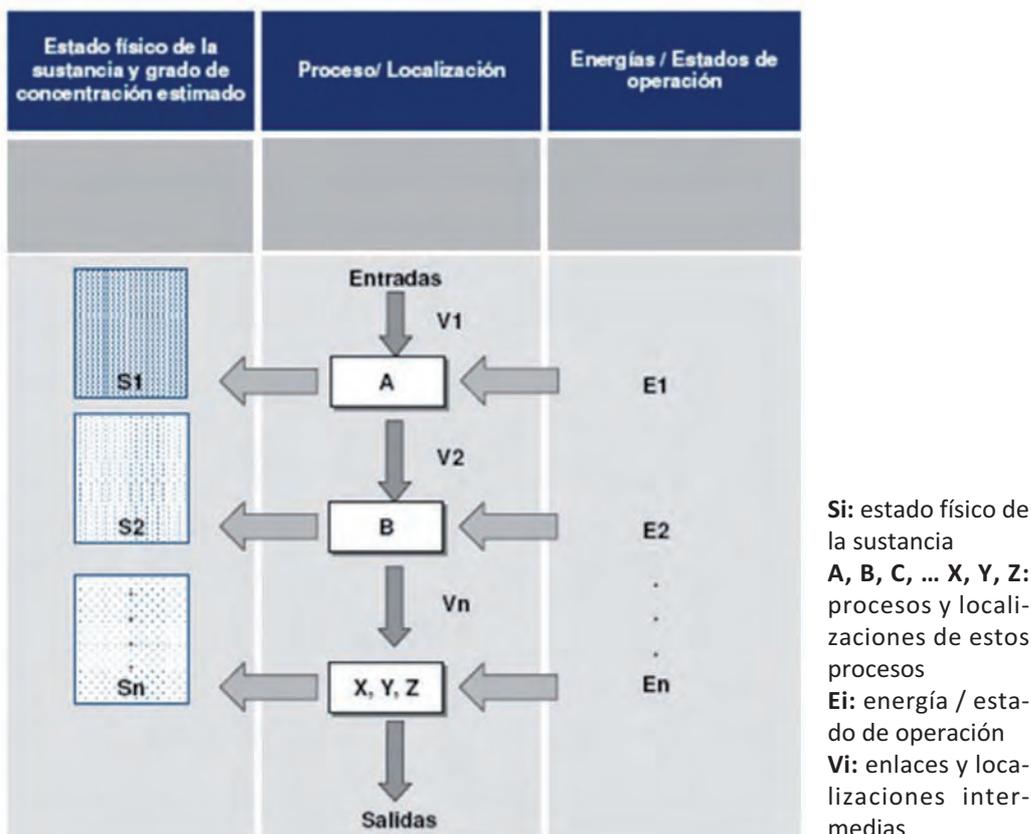
De esta forma, el análisis es útil para determinar, qué, por qué y cómo suceden las cosas, especialmente cuando analizamos procesos complejos.

Para la confección del diagrama se identificarán los posibles focos de aparición de polvo inflamable, para a partir de aquí efectuar un seguimiento de su evolución durante el desarrollo de la tarea. Los lugares donde se producen cambios de concentración de la sustancia señalarán los puntos intermedios del diagrama, de manera que se identificarán en la columna izquierda los distintos estados por los que atraviesa.

De la misma forma, en la columna central y correspondiéndose con los cambios de concentración indicados en la columna izquierda se incluirán todos los procesos que pueden provocar esos cambios de estado de la sustancia, al igual que la localización de dónde se desarrollan esos procesos. Esta localización es muy importante, ya que permitirá posteriormente cruzar el diagrama de análisis funcional de estados con las tablas de identificación de fuentes de ignición para la obtención del listado de situaciones con riesgo.

Por último, en la columna de la derecha se incluirán datos sobre las energías, temperaturas y otros parámetros que puedan ser de interés respecto al riesgo de explosión en el desarrollo de estos procesos intermedios, así como datos sobre el ambiente de planta en esas situaciones.

**ILUSTRACIÓN 3.** Análisis funcional de estados





## 8.4 Identificación de riesgos

En pocas ocasiones un sólo elemento es el causante de las situaciones de riesgo. Aunque la causa inmediata pueda ser el simple fallo de un equipo o un error del operador, posiblemente existirán otros sucesos que también habrán tenido influencia en el desarrollo del accidente. Tales situaciones incluyen tanto fallos no detectados de los sistemas de protección como fallos en aspectos organizativos.

En la mayoría de los casos, la identificación de peligros es la parte más importante de cualquier evaluación de riesgos. Además, debe haberse realizado con suma precisión la definición de la tarea para desarrollar adecuadamente todos los pasos posteriores del proceso de evaluación.

Es de gran importancia en esta fase del proceso el total conocimiento del funcionamiento de los equipos implicados y de los posibles fallos que puedan presentarse, ya sean provocados tanto por equipos, instalaciones como por errores humanos.

### 8.4.1 Listado de posibles fuentes de ignición

La tarea debe ser examinada detalladamente para determinar que fuentes de ignición pueden presentarse. Para ello, deberemos realizar un listado con todos los equipos presentes durante la ejecución de los trabajos e igualmente tener presentes las etapas de desarrollo de la tarea para tener en cuenta las posibles fuentes de ignición originadas por la acción humana. Pueden consultarse tablas que contienen listas de posibles fuentes de ignición en la norma UNE-EN 1127-2 “Atmósferas explosivas. Prevención y protección contra la explosión. Parte 2: Conceptos básicos y metodología”.

Primeramente, en la columna general sobre “Posibles fuentes de ignición”, se indicarán para cada tipo de fuente de ignición los equipos, instalaciones o acciones que pueden provocar la aparición de ésta, junto al por qué de su posible origen.

Cuando durante la ejecución de las labores necesarias para el desarrollo de la tarea estudiada, pueda estar presente alguna de estas fuentes de ignición ya sea por un equipo, instalación o acción humana, esta deberá anotarse en el registro correspondiente al “Tipo” de fuente de ignición de que se trate. En la columna “Equipo o instalación o acción humana / Localización” se identificará el foco específico de que se trate junto con su localización exacta.

En la columna “Causa” se detallará el motivo por el que este tipo de fuente de ignición puede presentarse (cortocircuito, sobrecarga, impacto, rozamiento, etc.).

Finalmente la columna “Significativo” se completará considerando la posibilidad de que la fuente identificada sea capaz de inflamar las atmósferas explosivas que pueden presentarse, de manera que se puedan tomar las decisiones adecuadas. Por ejemplo, si en la tarea analizada es posible la existencia de chispas generadas mecánicamente por roce, entonces en la columna “Significativo” introduciremos ‘NO – Energía < MIE 3·10<sup>-4</sup> J’, si se ha determinado que tales chispas nunca alcanzarán los niveles de energía necesarios para inflamar una atmósfera con concentración explosiva. Si por el contrario existe la posibilidad de que estas chispas posean la suficiente energía o no tenemos dato alguno sobre que decidir, deberemos introducir ‘SI – Energía > MIE 3·10<sup>-4</sup> J’, para estar del lado de la seguridad y tener presente esta posible fuente de ignición.

Como se ha dicho con anterioridad, para cada posible tipo de fuente de ignición de las que incluye deberá indicarse si esta puede presentarse en:

- 1) Cada uno de los equipos que intervienen en el desarrollo de la tarea
- 2) Las instalaciones presentes en la zona en la que se desarrolla la tarea
- 3) Las acciones realizadas por los trabajadores en el desarrollo de su trabajo

### 8.4.2 Registro de identificación de riesgos de explosión

El principal espíritu de la identificación de riesgos es que todos los posibles riesgos de explosión sean detectados de forma sistemática sin pérdida de ninguno. El objetivo de esta fase es la obtención de una lista de situaciones con riesgo de explosión, que servirá de punto de partida para efectuar la estimación de todos los riesgos de explosión identificados.

Esta lista se obtendrá tras cruzar el diagrama funcional de estados, gracias a su columna central de localizaciones, con la lista de fuentes de ignición, que igualmente incluye la localización



exacta de cada fuente de ignición identificada, de manera que se obtendrán todas las posibles situaciones de riesgo que pueden presentarse durante el desarrollo de las labores de ejecución de la tarea analizada.

La identificación de riesgos deberá analizar el proceso para identificar todas las posibles situaciones con riesgo de presencia conjunta de atmósferas potencialmente explosivas y posibles fuentes de ignición. El tipo de atmósfera explosiva que puede aparecer deberá ser introducido en la columna “Tipo” de la tabla. Seguidamente deberá estimarse la “Frecuencia de aparición”, mientras que la localización tanto espacial como temporal se introducirá en la columna de “Localización”.

Estas tres columnas serán completadas a partir del Diagrama de Análisis Funcional de Estados de manera que obtendremos inicialmente tantos registros como localizaciones existan.

De la misma forma se completarán las columnas correspondientes a las fuentes de ignición identificadas especificándose; el “Tipo” de fuente de ignición de que se trata, el “Equipo, Instalación o Acción” que la provoca junto a su “Localización”, la “Causa” por la que se produce, su “Probabilidad” de ocurrencia y finalmente su “Efectividad”.

La asignación de la “Frecuencia de aparición” de la atmósfera potencialmente explosiva identificada es un punto clave de la evaluación, ya que por tratarse de una estimación cualitativa la influencia de la subjetividad juega un papel fundamental. Por este motivo, ésta frecuencia de aparición debería guardar estrecha relación con parámetros cuantificables y característicos de las sustancias inflamables analizadas.

Por lo general, la probabilidad de aparición de atmósfera explosiva vendrá dada por la clasificación zonal previamente realizada.

El siguiente paso después de haber incluido todos los registros correspondientes a las atmósferas explosivas que pueden presentarse, es el de cruzar estos registros con las listas de identificación de fuentes de ignición.

Las fuentes de ignición se introducirán en función de la localización que se les haya asignado en la lista de identificación de fuentes de ignición, de forma que cada registro de atmósfera explosiva identificada se repetirá tantas veces como fuentes de ignición existan con la localización coincidente con la de la atmósfera explosiva.

De esta forma, el número de registros a evaluar se multiplicará en función del número de posibles fuentes de ignición que se repitan en cada localización de atmósfera explosiva.

Para cada nuevo registro creado, que ya estará caracterizado por la atmósfera explosiva existente, se incluirán las cuatro columnas que caracterizan cada fuente de ignición identificada tantas veces como fuentes de ignición existan en la localización de la atmósfera explosiva.

De esta forma, queda efectuado el cruce entre el diagrama funcional de estados y las listas de identificación de fuentes de ignición.

De nuevo un punto crucial del análisis será el de asignar una probabilidad al suceso aparición de cada fuente de ignición identificada.

En ocasiones, en los manuales de los fabricantes de equipos se aportan probabilidades de distintos tipos de fallo en función de las horas de funcionamiento de éstos, que pueden ser utilizadas para asignar alguna de las probabilidades de las fuentes identificadas en las tablas, si bien ésta práctica no es habitual.

Por tanto, al igual que sucedía con la asignación de frecuencias de aparición de las distintas atmósferas explosivas identificadas, deberemos crear tablas de asignación de probabilidades de aparición de fuentes de ignición en función de las características, antigüedad y estado de mantenimiento de equipos e instalaciones.

El siguiente paso será la asignación, en función de lo indicado en la columna Relevante de las tablas de identificación de fuentes de ignición, de la “Efectividad” de cada fuente dependiente de la atmósfera explosiva con la que interactúa, junto a las razones que provocan esta efectividad.



## 8.5 Estimación del riesgo

En principio, la estimación de riesgos debe realizarse sucesivamente para cada riesgo de explosión identificado por determinación de los elementos que se describirán a continuación. En términos de seguridad frente a explosiones los riesgos se componen de dos elementos:

- a) La **severidad** del posible daño.
- b) La **probabilidad** de que dicho daño suceda.

La severidad de una explosión puede ser caracterizada, sin embargo, la probabilidad de que suceda es más difícil de cuantificar.

Los riesgos se expresan de tres formas:

- Cualitativamente, por ejemplo como; alto, medio, bajo, tolerable, intolerable o aceptable.
- Cuantitativamente, calculando la probabilidad de que suceda un determinado evento.
- Semicuantitativamente, donde los elementos del riesgo están dados mediante una puntuación numérica resultado de la combinación de algunas formas de valoración, que permite que los riesgos sean clasificados.

En muchas situaciones no es posible determinar exactamente todos los factores que afectan al riesgo, en particular aquellos que contribuyen a la probabilidad de que un determinado suceso ocurra. Estos riesgos se expresan normalmente de forma cualitativa y no cuantitativa.

La severidad puede ser expresada en niveles definidos en términos de daños a la salud de las personas o de daños a los sistemas, estos niveles pueden ser:

- Daños catastróficos
- Daños mayores
- Daños menores
- Daños insignificantes

Para estimar la frecuencia de cada riesgo de explosión, podemos aplicar una técnica de investigación que determine la probabilidad de cada suceso peligroso. La frecuencia de ocurrencia puede ser expresada cualitativamente como:

- Frecuente
- Probable
- Ocasional
- Remota
- Improbable

Esta probabilidad deberá ser función de las dos probabilidades de las que procede, probabilidad de presencia de atmósferas explosivas y probabilidad de presencia de fuentes de ignición efectivas. En la tabla de identificación de riesgos de explosión ya se han asignado estas probabilidades a cada uno de estos dos sucesos. De esta manera, la probabilidad de presencia del riesgo de explosión vendrá dada mediante una tabla.

*Tabla 3. Asignación de probabilidad del riesgo de explosión*

		PRESENCIA DE ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS				
		IMPROBABLE	REMOTA	OCASIONAL	PROBABLE	FRECUENTE
PRESENCIA DE FUENTES DE IGNICIÓN	IMPROBABLE	IMPROBABLE	IMPROBABLE	IMPROBABLE	REMOTA	OCASIONAL
	REMOTA	IMPROBABLE	REMOTA	REMOTA	OCASIONAL	PROBABLE
	OCASIONAL	IMPROBABLE	REMOTA	OCASIONAL	PROBABLE	FRECUENTE
	PROBABLE	REMOTA	OCASIONAL	PROBABLE	PROBABLE	FRECUENTE
	FRECUENTE	OCASIONAL	PROBABLE	FRECUENTE	FRECUENTE	FRECUENTE

Las definiciones de los diferentes niveles y frecuencias de la severidad se recogen en la siguiente tabla.

Tabla 4. Estimación de la severidad de la explosión

SEVERIDAD		
DESCRIPCIÓN	DEFINICIÓN DEL SUCESO	LOCALIZACIÓN
CATÁSTROFE	Se prevén Muertes o pérdida de sistemas	Existencia de trabajadores en la localización de la explosión
MAYOR	Se prevén Daños severos, accidentes laborales graves o daños graves al sistema	Existencia de trabajadores cercanos a la localización de la explosión <u>sin existencia de barreras de protección</u>
MENOR	Se prevén Daños menores, accidentes laborales leves o leves daños al sistema	Existencia de trabajadores cercanos a la localización de la explosión <u>con existencia de barreras de protección</u>
INSIGNIFICANTE	Se prevé Nivel inferior a daños menores, incidente laboral o daños insignificantes al sistema	Existencia de trabajadores alejados en otros lugares del interior de la explotación o no existencia de trabajadores en el interior de la explotación

El enlace entre la probabilidad asignada al suceso explosión y la severidad forman la matriz Severidad-Frecuencia.

Los cruces correspondientes de dicha matriz se identifican como A, B, C y D. Estos niveles de riesgo representan una escala que permite evaluar en que ocasiones serán necesarias medidas adicionales de seguridad. Los cruces de la matriz pueden ser:

- Nivel A de riesgo .....ALTO NIVEL DE RIESGO
  - Nivel B de riesgo
  - Nivel C de riesgo
  - Nivel D de riesgo .....BAJO NIVEL DE RIESGO
- ↑  
↓

Tabla 5. Estimación del riesgo de explosión

		SEVERIDAD			
		CATÁSTROFE	MAYOR	MENOR	INSIGNIFICANTE
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	FRECUENTE	A	A	A	C
	PROBABLE	A	A	B	C
	OCASIONAL	A	B	B	D
	REMOTO	A	B	C	D
	IMPROBABLE	B	C	C	D



## 8.6 Valoración de riesgos

Una vez han sido estimados todos los riesgos de explosión identificados, debe llevarse a cabo la valoración de éstos para determinar en cuáles de ellos se requiere la aplicación de una técnica de reducción de riesgos, o por el contrario, en cuales ya existe una seguridad adecuada.

Es evidente, que si el riesgo resulta de nivel A este riesgo será demasiado alto e intolerable, y por tanto se requerirán medidas de reducción de riesgos adicionales. De la misma forma, el nivel de riesgos D puede considerarse suficientemente aceptable y requerir unas medidas de seguridad menores.

De esta manera podemos definir cada riesgo de manera que queden establecidos los niveles de acción y temporización de las actuaciones adecuadas. Esta correspondencia se muestra en la tabla 6 donde junto a cada asignación del nivel de riesgo aparecen los tipos de acciones que requieren junto con sus periodos de implantación.

*Tabla 6. Niveles de acción y temporización*

NIVEL DE RIESGO	TIPO	ACCIÓN Y TEMPORIZACIÓN
A	INTOLERANTE	No debe comenzarse ni continuar el trabajo hasta que se reduzca el riesgo. Si no es posible reducir el riesgo, incluso con recursos ilimitados, debe prohibirse el trabajo. Este tipo de riesgo requiere tanto la aplicación de medidas técnicas como de medidas organizativas.
B	IMPORTANTE	No debe comenzarse el trabajo hasta que no se haya reducido el riesgo. Puede que se precisen recursos considerables para reducir el riesgo. Cuando el riesgo corresponda a un trabajo en ejecución, debe remediarse el problema en un tiempo inferior al de los riesgos moderados.
C	MODERADO	Se deben hacer esfuerzo para reducir el riesgo, determinando las inversiones precisas. Las medidas para reducir el riesgo deben implantarse en un período determinado. Cuando el riesgo moderado esta asociado a consecuencias dañinas (severidad Mayor), se precisará una acción posterior para establecer con más precisión la probabilidad de daño como base para determinar la necesidad de mejora de las medidas de control.
D	TOLERABLE	No se necesita mejorar la acción preventiva. Sin embargo, se deben considerar soluciones más rentables o mejoras que no supongan una carga económica importante. Se requieren comprobaciones periódicas para asegurar que se mantiene la eficacia de las medidas de control.

## 8.7 Análisis de las opciones de reducción del riesgo

En la práctica, rara vez pueden reducirse los riesgos a cero, excepto claro está, si eliminamos las actividades que los provocan. No obstante, se pueden conseguir importantes reducciones si se aplican las técnicas de prevención y protección adecuadas.

Las opciones más potentes para la reducción de riesgos son aquellas que localizan el evento peligroso que tiene las mayores contribuciones al riesgo total.

Una vez que el riesgo ha sido estimado y evaluado, la fase de análisis de las opciones de reducción de riesgos deberá aportar la decisión final sobre si el riesgo ha sido o no ha sido reducido a un nivel aceptable.

Esta decisión incluye puntos de vista tanto tecnológicos como económicos. Si la decisión final es la de que un riesgo no ha sido reducido a un nivel aceptable, entonces el proceso iterativo debe realizarse de nuevo, después de modificar el concepto de seguridad.

Debemos tener en cuenta muchos factores a la hora de analizar las opciones de reducción de riesgos. El más importante es, no obstante, la cantidad de reducción del riesgo que será necesaria para llevarlo a niveles tolerables.

Durante este proceso es importante tener en cuenta la efectividad de las distintas opciones de reducción.



Durante este proceso es importante tener en cuenta la efectividad de las distintas opciones de reducción.

En general, en el campo de la seguridad frente al riesgo de explosión, la reducción de riesgos mediante la implantación de medidas preventivas es más efectiva que la instalación de protecciones, tanto a nivel colectivo como individual.

Además, es importante comparar el coste efectivo de las distintas opciones. Se hará un planteamiento de los siguientes puntos, que pueden estar relacionados con las previsiones de eficacia de las acciones que deben ser tenidas en consideración:

- Coste total
- Productividad
- Eficiencia energética
- Costes de mantenimiento
- Otros costes operacionales

Otros puntos que pueden resultar relevantes al comparar unas opciones de reducción de riesgos con otras son:

- A la hora de seleccionar las alternativas que cumplan con las condiciones particulares exigidas, será importante considerar requisitos de la legislación vigente o de Códigos de Buenas Prácticas y Guías de Recomendaciones.
- Duración esperada del riesgo, en las ocasiones en las que éste suceda durante un corto periodo de tiempo, puede que no sea apropiada una protección diseñada para funcionar de manera continua.

En la mayoría de los casos, es improbable que una opción de reducción de riesgos constituya una completa solución para un problema particular. La evaluación de riesgos de las tareas se mejorará sustancialmente si se aplica una combinación de opciones de reducción de riesgos. De esta forma, la fase de análisis se convierte en una fase de gestión de los riesgos de explosión.

Después de haber tomado todas las medidas necesarias para reducir la probabilidad y consecuencias de cada riesgo concreto, es necesario acabar con los posibles riesgos residuales. Los riesgos residuales aparecen cuando la reducción de riesgos mediante el diseño apropiado o mediante la aplicación de técnicas de protección no es totalmente efectiva. Los trabajadores deben ser informados de estos riesgos residuales a través de instrucciones y avisos.



## 9. Evaluación del riesgo en los sistemas y equipos más habituales en las fábricas de piensos

### 9.1 Tolvas de recepción

En las tolvas de recepción se producen atmósferas explosivas de forma puntual durante el llenado, esto es debido a la naturaleza de las materias primas que habitualmente contienen un elevado porcentaje de polvo. En ausencia de sistemas de aspiración localizada la atmósfera explosiva normalmente se extiende a todo el recinto de recepción e incluso puede propagarse hasta 3-4 m. En sistemas con aspiración localizada se recomienda la no limpieza de mangas durante la descarga para reducir la formación de atmósfera explosiva.

Las fuentes de ignición efectivas que se pueden producir durante el tiempo que dura la atmósfera explosiva se deben principalmente a superficies calientes de los vehículos, descargas por estática tipo chispa, a la acción de cuerpos extraños como metales, piedras, a la autocombustión de materias primas acumuladas durante cierto tiempo en la tolva que producen partículas incandescentes que pueden generar incendios e inflamar las atmósferas explosivas y también debido a disfunciones de los equipos de transporte como rozamientos en elevadores de cangilones o los tornillos sinfín. Las fuentes de ignición provocadas durante las tareas de mantenimiento también deben ser tenidas en consideración.

Por lo tanto, se recomiendan como medidas preventivas para reducir la atmósfera explosiva la instalación de sistemas eficaces de captación de polvo: como el uso de sistemas de puesta a tierra. Se evitarán en la medida de lo posible instalaciones eléctricas, luminarias, etc. y en caso de no poder evitarlo se utilizarán equipos y componentes con el modo de protección contra explosión apropiado.

Se limitará el acceso al personal a la zona de descarga durante el tiempo que dure ésta.

Un buen mantenimiento y limpieza de la instalación ayudará a evitar partículas calientes e incendios por autocombustión o rozamientos en equipos.

El uso de rejillas evitará la entrada de gran parte de cuerpos extraños que pueden provocar disfunciones en los equipos. Para que las rejillas sean eficaces se deben mantener en buen estado y el tamaño de paso será el menor que permita un buen flujo del producto.



## 9.2 Filtros de Mangas

Los sistemas de captación de polvo se pueden utilizar para reducir el alcance de las atmósferas explosivas por polvo del interior o exterior de equipos, silos, tolvas, etc., evitando potenciales fuentes de escape. Los sistemas de captación de polvo funcionan manteniendo un flujo de aire en depresión que capta y transporta las partículas de polvo más pequeñas hasta un equipo separador. Para mantener el caudal y depresión de aire necesarios el sistema se ayuda normalmente de ventiladores centrífugos. Se desaconseja el uso de instalaciones de captación centralizadas pues en caso de explosión se propagaría al resto de la instalación, pudiendo producir explosiones secundarias. Es por tanto aconsejable el uso de sistemas que capten del menor número posible de equipos o recintos.

Dentro de los sistemas de captación nos encontraremos distintos sistemas de separación de polvo siendo los más habituales los filtros de mangas y ciclones.

Los filtros de mangas son equipos que disponen de mangas de tejido filtrante a través de las cuales, se hace pasar el flujo de aire en depresión con polvo, quedando el polvo atrapado en la parte exterior de la manga y el aire limpio sale por el interior hacia una cámara limpia. En estos equipos la atmósfera explosiva se produce normalmente durante los ciclos de limpieza, pues al inyectar aire en contracorriente se pone todo el polvo en suspensión. Dependiendo del contenido de polvo que tenga el aire de captación, también es posible que el interior de la cámara sucia del filtro permanezca con atmósfera explosiva de forma continua. En cuanto a la cámara limpia, es posible que se formen atmósferas explosivas de forma puntual por rotura del medio filtrante o por un mal ajuste de éste o simplemente por cúmulos de finas partículas de polvo que pasen a través del tejido filtrante. El riesgo en este equipo radica en la aparición de descargas por estática y en los incendios causados como consecuencia del transporte de partículas incandescentes producidas en otros equipos que se alojan en el medio filtrante. También habrá que tener en cuenta las chispas provocadas por componentes eléctricos ubicados en el interior y cuyo nivel de protección sea insuficiente.

En el caso de ciclones como medio de separación del polvo, éstos funcionan separando las partículas por el efecto del rozamiento con las paredes, generándose una corriente ascendente de aire limpio en el centro del equipo saliendo por lo tanto por la parte superior. Así pues, dependerá de la concentración de polvo que contenga el aire de captación para poder determinar si se produce atmósfera explosiva en su interior de forma continua o de forma discontinua. El riesgo de este equipo radica básicamente en las descargas por estática.

Para prevenir la formación de atmósferas explosivas en los filtros de mangas, se recomienda reducir la frecuencia de ciclos de limpieza y evacuar el polvo acumulado en su interior con regularidad. Para prevenir contra las fuentes de ignición, se recomienda poner las jaulas de soporte de mangas a tierra, así como el chasis del equipo. Se recomienda el uso de medios filtrantes antiestáticos en el caso de presencia de polvo con baja energía de inflamación.

También se recomienda el uso de sistemas de detección y extinción de chispas en aquellos equipos en los que es posible la llegada de partículas incandescentes desde otros equipos. El funcionamiento de los sistemas de detección y extinción de chispas se explica en capítulos posteriores.

Asimismo, es muy conveniente la instalación de los ventiladores agua por debajo de los filtros, y así se evita la generación de chispas debidas al choque de cuerpos extraños y también la generación de partículas incandescentes debidas al rozamiento de partes móviles con cúmulos de polvo en el interior del equipo.

Cuando en el interior del filtro existe una atmósfera explosiva de forma continua y a pesar de las medidas de prevención sigue existiendo la posibilidad de aparición de chispas, será necesario implementar medidas de protección contra la explosión como por ejemplo venteo de explosión, supresión, confinamiento, etc. Siendo además necesario evitar la propagación de la explosión al resto de equipos y dependencias de la instalación mediante sistemas de aislamiento de explosión, ya sean químicos o mecánicos.

Un buen mantenimiento y limpieza de la instalación será fundamental en la prevención de atmósferas explosivas y fuentes de ignición.



## 9.3 Elevadores de cangilones

Los elevadores de cangilones son equipos para transporte vertical de sólidos a granel. Estos equipos son de los más peligrosos en cuanto a explosiones se refiere, debido a que un diseño o mantenimiento inadecuado puede hacer que se produzcan numerosas fuentes de ignición.

Para determinar la frecuencia de formación de atmósfera explosiva por polvo en el interior de elevadores se pueden diferenciar tres situaciones distintas.

**Primera:** se da en elevadores que transportan productos con granulometría inferior a 1mm, considerándose la presencia de atmósfera explosiva de forma continua. Con independencia de la existencia o no de captación de polvo localizada. En este caso la aspiración localizada puede reducir la concentración de polvo a valores próximos al óptimo de explosividad.

**Segunda:** se da cuando el elevador transporta productos con un contenido en finos (menos de 1mm) menor al 3% en peso y no dispone de sistema de captación de polvo eficaz. En este caso, se considera que la atmósfera explosiva se puede dar durante el funcionamiento normal.

**Tercera:** igual que la anterior, pero en ésta se dispone de un sistema de captación de polvo efectiva (filtros adheridos a la caña del elevador con retorno al interior de ésta no se consideran sistemas eficaces de captación de polvo). En este caso, se considera que la atmósfera explosiva es improbable que ocurra en funcionamiento normal.

En cualquiera de los tres casos habrá que tener en cuenta factores como la humedad del producto, friabilidad, granulometría, etc.

También es importante, tener en cuenta que en cualquiera de los tres casos el polvo tiende a adherirse a las paredes del equipo. Cuando se acumulan capas de polvo de más de 0,1 mm, éstas son susceptibles de producir una atmósfera explosiva debido a vibraciones, golpes etc.

Los riesgos propios de los elevadores de cangilones son la generación de fuentes de ignición debido a rozamiento de la cinta por desplazamiento, pudiendo generar superficies calientes, partículas incandescentes e incluso incendios.

Otra posible fuente de ignición es el fallo de los rodamientos debido a un sobreesfuerzo o mal mantenimiento pudiendo también producir superficies calientes, partículas incandescentes e incendios.

Las mismas consecuencias tendrá el deslizamiento de la cinta con respecto a las poleas debido a atascos, fallo en la tensión de la cinta, defecto de diseño o entrada de cuerpos extraños.

En el caso de atascos es posible que la cinta se rompa, cayendo toda la altura del elevador y en el caso de cazos metálicos, éstos producirán gran cantidad de chispas.

Las descargas por estática también son otra de las fuentes de ignición probables en un elevador, produciéndose las más energéticas al aproximarse la cinta cargada a la polea puesta a tierra. Por lo tanto, se aconseja para reducir la formación de atmósfera explosiva en el interior del equipo la instalación de equipos de aspiración localizada efectivos. Para reducir las emisiones de polvo al exterior se aconseja el uso de rodamientos herméticos.

Para evitar fuentes de ignición se hace necesario la instalación de equipos de control de desvío de banda, control de temperatura en rodamientos, control de atascos y deslizamiento de banda.

Se recomienda el uso de bandas ignífugas y antiestáticas en elevadores donde pueda existir una atmósfera explosiva en condiciones normales de funcionamiento.

Un buen sistema para prevenir la entrada de cuerpos extraños evitará muchos incidentes que pueden poner en riesgo la instalación.

Si a pesar de todo, no es posible garantizar la no aparición de fuentes de ignición en aquellos equipos en los que hay una atmósfera explosiva en su interior de forma continua, será necesario implementar sistemas de protección que reduzcan los efectos de una explosión. Entre estos equipos estaría el venteo de explosión, venteo sin llama, supresión, confinamiento y siempre junto a un sistema de aislamiento de la explosión que impida la propagación de ésta al resto de equipos y dependencias de la instalación como es el caso de silos, tolvas y filtros de mangas adyacentes.

Estos sistemas de protección se explican en capítulos posteriores.



## 9.4 Transportadores de cadena

Debido al funcionamiento y características constructivas de los transportadores de cadena no es habitual la presencia de atmósferas explosivas, aunque en determinados puntos podría esperarse que se produzcan en funcionamiento normal como es en la entrada y salida.

En este caso solo será necesario tener precaución de evitar las fuentes de ignición durante el funcionamiento normal y/o disfunción.

Las chispas más habituales en estos equipos son las debidas al rozamiento de la cadena por sobrecargas y las debidas a electrostática.

Por lo tanto, se recomienda el uso de sistemas de captación de polvo para reducir la presencia de polvo durante su funcionamiento, así como el uso de rodamientos herméticos. Para evitar las chispas por estática será suficiente con poner el equipo a tierra.

El control de giro y detector de atascos evitarán la generación de chispas por fallos en la cadena y/o sobrecarga del equipo.

## 9.5 Transportadores de tornillo

Durante la operación de los transportadores de tornillo, normalmente no se generan atmósferas explosivas salvo en las zonas de carga y descarga debido a la separación del polvo y grano por diferencia de peso y tamaño. En ausencia de captación de polvo localizada en estos puntos, se puede considerar que la atmósfera explosiva puede estar presente durante funcionamiento normal.

Las fuentes de ignición habituales en los transportadores de tornillo se deben a superficies calientes provocadas por el rozamiento entre partes fijas y móviles o por rotura de rodamientos o por entrada de cuerpos extraños.

La pérdida de tensión de las correas motrices puede provocar deslizamiento, conllevando el riesgo de causar superficies y partículas calientes o incendios. La pérdida de tensión puede ser debida a una disfunción en los tensores.

También existe el riesgo de descargas por estática entre las correas motrices y la polea puesta a tierra. Estas descargas son muy energéticas, siendo capaces de inflamar gran cantidad de tipos de polvo combustible.

Así pues, para evitar o reducir las atmósferas explosivas se recomienda aspiración localizada de polvo en los puntos de carga y descarga. La instalación de sistemas que garanticen la hermeticidad en los rodamientos, como prensaestopas, presurización, etc. ayudará a reducir las fuentes de escape de polvo.

Limitar la velocidad de transporte por debajo de 1 m/s también ayudará a reducir las fuentes de ignición por rozamiento aunque si se aplican velocidades bajas combinadas con potencias inferiores a 4 kw se elimina el riesgo de fuentes de ignición por rozamiento.

Para evitar la formación de potenciales fuentes de ignición será necesario controlar la temperatura de los rodamientos, así como el giro y atascos.

Un buen mantenimiento del equipo puede reducir la aparición de fuentes de ignición.

## 9.6 Transporte neumático

Los equipos de transporte neumático son utilizados para el transporte de sólidos, normalmente pulverulentos a granel, los cuales son arrastrados por una corriente de aire. Existen distintos tipos de configuraciones diferenciándose en función de la presión de transporte y la relación aire de transporte/producto. En función de que la presión sea positiva o negativa tendremos sistemas por impulsión y sistemas en depresión. Si hacemos la clasificación en función de la relación aire/producto, entonces los transportes neumáticos se clasificarán en fase diluida, semidiluida y densa.

Normalmente se preferirán transportes en depresión para así evitar fuentes de escape de polvo al exterior. Por otro lado, decir que salvo en el transporte en fase diluida es habitual encontrar concentraciones de polvo por encima de los límites de explosividad, aunque ha de tenerse precaución en las paradas y arranques del sistema pues podrían generarse atmósferas explosivas.



En cuanto a las posibles fuentes de ignición habrá que tener especial atención a las causadas por las descargas de estática, ya que pueden producirse descargas muy energéticas del tipo chispa o haces deslizantes capaces de inflamar casi todos los tipos de polvo combustible. Otra posible fuente de ignición serán las chispas o partículas incandescentes producidas en otros equipos y que llegan hasta el sistema de transporte neumático.

Por último, es de vital importancia en sistemas que transporten productos susceptibles a la autocombustión tener en cuenta la presencia de partículas incandescentes debidas a la combustión del polvo depositado en el interior de conductos y sistemas en general.

Como medidas de prevención de la atmósfera explosiva se implementarán sistemas en depresión, siempre que sea posible. Se garantizará la continuidad eléctrica de todo el sistema mediante la instalación de tomas de tierra y cables de continuidad eléctrica allí donde existan puntos de discontinuidad. Se evitará la instalación de tubos de transporte y revestimientos de materiales no conductores. Se aconseja el uso de separadores de cuerpos extraños previos a la alimentación del producto en el sistema. Es también importante evitar la entrada de partículas incandescentes en el interior del sistema como por ejemplo mediante el uso de filtros en las tomas de aire o mediante el uso de sistemas de detección y extinción de chispas.

Un buen mantenimiento y limpieza de las bombas de impulsión o aspiración es fundamental para evitar partículas incandescentes debidas a rozamientos internos de los equipos.

Es también importante en sistemas de fase diluida la instalación de bocas de inspección que permitan limpiar el interior de los conductos con cierta frecuencia.

## 9.7 Transportadores de cinta

Durante la operación de los transportadores de cinta no se generan atmósferas explosivas salvo en las zonas de carga y descarga debido a la separación del polvo y grano por diferencia de peso y tamaño o en el caso de cintas abiertas a la intemperie. En ausencia de captación de polvo localizada en estos puntos se puede considerar que la atmósfera explosiva está de forma continua, siempre y cuando la concentración de polvo en la nube esté dentro de los márgenes de explosividad.

Las fuentes de ignición habituales en los transportadores de cinta se deben a superficies calientes o incendios generados por el rozamiento entre cinta y rodillos que han perdido su giro por la rotura de rodamientos. También es posible que la rotura o desajuste de un rodamiento principal desvíe la banda con el consiguiente roce de ésta con las partes fijas, lo que puede producir superficies calientes e incendios.

La pérdida de tensión de la cinta puede provocar el deslizamiento de ésta en los rodillos principales, conllevando el riesgo de provocar superficies y partículas calientes o incendios. La pérdida de tensión puede ser debida a una disfunción en los tensores, cúmulos de producto en el retorno de la cinta, introducción de cuerpos extraños, etc.

También existe el riesgo de descargas por estática entre la cinta no conductora y el rodillo conductor puesto a tierra. Estas descargas son muy energéticas, siendo capaces de inflamar gran cantidad de tipos de polvo combustibles.

Para evitar o reducir las atmósferas explosivas se recomienda el uso de cintas capotadas con aspiración localizada de polvo en los puntos de carga y descarga. Limitar la velocidad de transporte por debajo de 1 m/s también ayudará a reducir la formación de atmósferas explosivas. La instalación de cepillos o sistemas de limpieza de cinta, así como la instalación de cubiertas para la recolección del polvo adherido a la cinta en su retorno ayudará enormemente a reducir la formación de atmósferas explosivas.

Para evitar la formación de potenciales fuentes de ignición será necesario controlar la temperatura de los rodamientos principales, así como el deslizamiento y desalineamiento de la cinta. Se debe evitar que la cinta deslice sobre rodillos sin giro como consecuencia de rodamientos dañados o atascos. Esto se puede evitar con un buen mantenimiento preventivo y limpieza frecuentes.

El uso de cintas de espesor superior a 10mm o antiestáticas es aconsejable cuando se transportan productos sensibles a la estática.



## 9.8 Molinos de martillos

En el interior de los molinos durante su funcionamiento normal existe una atmósfera pulverulenta continua la cual supera parcialmente los límites de explosividad. En aquellos equipos que disponen de aspiración localizada, es donde habitualmente se da una atmósfera explosiva de forma continua en su interior debido a la dilución de la atmósfera pulverulenta dentro de los márgenes de explosividad.

Los molinos de martillos son equipos con un alto riesgo por explosiones debido a la alta frecuencia con que se producen fuentes de ignición.

El rozamiento entre martillos y criba debido a un mal montaje de ésta es una de las posibles fuentes de ignición, también la entrada de cuerpos extraños como metales y piedras los cuales producen chispas al ser golpeados por los martillos. Aunque el mayor riesgo se da cuando los martillos chocan contra la criba, ya que esto hace que además de romperse los martillos, rocen con la criba y produzcan gran cantidad de chispas y superficies calientes que pueden derivar en un incendio y/o explosión. Otra posible fuente de ignición se da cuando se impide el flujo normal del producto molido a través de la criba, ya que el producto queda en rozamiento continuo con el rotor lo que produce el recalentamiento del producto y genera partículas incandescentes o incluso incendios y explosiones. Esta falta de flujo puede ser debida a varias causas como son el desgaste de la criba, el desgaste de martillos, el uso de cribas de luz muy reducida o incluso la molturación de productos difíciles con excesiva humedad.

Mantener el interior de los molinos en depresión, así como el uso de rodamientos herméticos ayuda a evitar fuentes de escape de polvo al exterior aunque resulta muy difícil prevenir la presencia de atmósfera explosiva en su interior. Es por esto que, será necesario poner especial precaución en evitar las fuentes de ignición mediante el control de temperatura en el interior de la cámara de molienda, la instalación de sistemas que eviten la entrada de cuerpos extraños, por ejemplo imanes, separadores de piedras, etc. También se debe controlar el nivel de producto a la salida de la criba para evitar que ésta se obstruya.

Los controles de sobrecarga evitarán atascos y recalentamientos del producto. La instalación de sistemas de aspiración localizada ayudará a la refrigeración y evacuación del producto de la cámara de molienda, reduciendo la probabilidad de generar recalentamientos y por tanto partículas incandescentes.

Las partículas incandescentes, en caso de producirse, pueden llegar hasta el filtro de mangas del sistema de aspiración provocando incendios, para prevenir esta situación se recomienda el uso de sistemas de detección y extinción de chispas.

Un control de la temperatura en los rodamientos y/o vibraciones nos avisará de posibles fallos que podrían causar rozamientos internos en el molino.

Realizar un buen mantenimiento y limpieza del equipo contribuirá a evitar muchos de los fallos causantes de fuentes de ignición.

Debido a la presencia continua de atmósfera explosiva durante el funcionamiento del equipo y a la dificultad de evitar las fuentes de ignición, será necesario proteger los molinos con sistemas que mitiguen los efectos de una explosión combinando con otro que evite la propagación de la explosión al resto de la instalación que de producirse generaría casi con toda seguridad una explosión secundaria de consecuencias devastadoras.

Los sistemas de protección de explosión más utilizados son venteo de explosión, venteo sin llama y supresión de la explosión. Como aislamiento es posible utilizar barreras químicas o físicas como por ejemplo válvulas rotativas certificadas o válvulas antiexplosión.

## 9.9 Mezcladores

Debido al funcionamiento y características constructivas de las mezcladoras no es habitual la presencia de atmósferas explosivas aunque puntualmente durante el llenado y vaciado se puede esperar que se produzcan.

Las chispas más habituales en estos equipos son las debidas a rozamientos y electrostática.

Por lo tanto se recomienda el uso de sistemas de captación de polvo para reducir la presencia de polvo durante la carga, así como el uso de rodamientos herméticos.

Para evitar las chispas por estática será suficiente con poner el equipo a tierra. Si la mezcladora dispone de rompedores se recomienda su puesta en marcha cuando la mezcladora esté llena.



El control de temperatura de los rodamientos es de gran utilidad cuando la atmósfera explosiva puede estar presente durante el funcionamiento normal.

## 9.10 Secadores

Los secadores son equipos cuyo diseño es muy variable, siendo posible encontrar en las instalaciones secadores tipo cinta, rotativos, en cascada, etc. Debido a esta variedad de diseños será necesario determinar en cada caso la frecuencia y duración de las atmósferas explosivas.

Los secadores son equipos muy propensos a los incendios por lo que la instalación de sistemas de control de temperatura y/o detección y extinción de incendios es muy recomendable.

En aquellos dispositivos de calentamiento directo se debe controlar la propagación de chispas al interior mediante sistemas eficaces de detección y apagado de chispa o mallas apaga chispas. En el caso de dispositivos de calentamiento indirecto será necesario controlar la temperatura en todo momento. Otro riesgo importante en los secadores es la autocombustión de los residuos tras el secado. Para disminuir el riesgo de autocombustión, se recomienda la limpieza del interior y/o control de focos incipientes de fuego mediante detectores de CO, infrarrojos o similar.

Como medida de prevención se debe evitar la presencia de líquidos inflamables en la cercanía del secador y se evitará la entrada de aire de secado que contenga polvo en suspensión

## 9.11 Silos

Según las estadísticas consultadas, en la UE un alto porcentaje de las explosiones por polvo combustible que suceden en la industria ocurren en silos.

Las atmósferas explosivas se producen principalmente durante el llenado del silo y su frecuencia y duración dependerá de diversos factores como el tipo de carga (neumática o caída libre), contenido en polvo del producto a almacenar, humedad del producto a almacenar, efectividad del sistema de aspiración y frecuencia de llenado del silo. Es por esto que en silos que almacenen productos pulverulentos y cuya frecuencia de llenado es alta consideremos que existe una atmósfera explosiva de forma continua, por el contrario en silos con baja frecuencia de llenado la atmósfera explosiva se considerará ocasional durante el funcionamiento normal.

Es importante tener en cuenta que habitualmente existen capas de polvo adheridas a paredes, salientes e interior de tubos de llenado que son capaces de producir atmósferas explosivas en caso de ponerse en suspensión.

Entre las fuentes de ignición más probables en los silos se encuentran:

- Partículas incandescentes provenientes de otros equipos.
- Propagación de explosiones provocadas en los equipos de llenado como es el caso de elevadores de cangilones.
- Descargas por electricidad estática tipo cono, haces deslizantes o tipo chispa.
- Partículas incandescentes o llamas provocadas por la autocombustión del producto almacenado.
- Equipos eléctricos en el interior de los silos con nivel de protección insuficiente como es el caso de lámparas de mano, luces de inspección, etc.

Como medidas para prevenir la formación de atmósfera explosiva se recomienda el uso de sistemas de eliminación de polvo previo a su almacenaje, así como la implementación de sistemas de captación de polvo efectivos. Una limpieza regular del interior y exterior del silo evitará cúmulos incontrolados de polvo adherido a paredes, tubos de llenado, etc.

Para evitar las fuentes de ignición es indispensable prevenir la propagación de las explosiones generadas en los equipos de llenado, con medidas tales como la puesta a tierra de las estructuras metálicas y un buen sistema de prevención de autocombustión mediante detección temprana por temperatura y/o detección de gases de combustión, infrarrojos, etc. La instalación de detectores de chispa y posterior apagado evitará la entrada de partículas incandescentes.

En aquellos silos en cuyo interior existe una atmósfera explosiva de forma continua será muy difícil garantizar la ausencia de fuentes de ignición, por lo que será necesario implantar medi-



das de protección entre las que se encuentran: venteo de explosión, venteo sin llama, supresión de explosión, etc, y siempre en combinación con aislamiento de la explosión mediante barreras químicas o mecánicas certificadas.

## 9.12 Prensas Granuladoras

En este tipo de equipos no es habitual que se produzcan explosiones debido a que las concentraciones de polvo elevadas y la humedad en su interior reducen mucho la formación de atmósferas explosivas. Sin embargo, el riesgo en estos equipos reside en la formación de gran número de partículas incandescentes debidas a la fricción del material entre los rodillos y matriz.

Es muy importante evitar la formación de partículas incandescentes, al ser una fuente de ignición efectiva de las atmósferas explosivas producidas en otros equipos del proceso (por ejemplo enfriadores, ciclones y filtros de mangas). Es habitual encontrar casos en los que una partícula incandescente procedente de la granuladora produce un incendio al alojarse en una manga textil de un filtro, lo que sin duda tiene una enorme probabilidad de producir una explosión cuando el filtro realice su ciclo de limpieza normal.

Para evitar que aparezcan fuentes de ignición es recomendable implantar medidas preventivas como control de atascos o sobreesfuerzos durante el proceso de granulación, por ejemplo mediante el uso de detectores de máximo nivel redundantes, control de la temperatura en la cámara de granulación, buen mantenimiento de las compuertas antiatascos, detección de partículas por infrarrojos, detección de combustión en el enfriador mediante detectores de CO, extinción de incendios, etc.

En el caso de enfriadores que dispongan de filtros de mangas también es recomendable la implantación de un sistema de protección contra la explosión como puede ser el venteo a zonas seguras.



# 10. Medidas de Prevención y Protección de Explosiones

## 10.1 Medidas organizativas de prevención

### Instrucciones de Servicio

Las instrucciones de servicio son disposiciones y normas de comportamiento vinculantes relacionadas con la actividad que el empresario da a los trabajadores por escrito. En ellas se describen los peligros que el lugar de trabajo entraña para el hombre y el medio ambiente, y se señalan las medidas protectoras adoptadas o de cumplimiento obligado. Las instrucciones de servicio deben ser elaboradas por el empresario o una persona capacitada por él designada.

Los trabajadores deben observar las instrucciones, que se refieren a un puesto de trabajo o sector de actividad determinado. Las instrucciones de servicio para lugares de trabajo con riesgo de atmósfera explosiva deben reflejar las zonas donde existen riesgos y cómo se autoriza la entrada, los diversos permisos de trabajo, los equipos que pueden usar y si es preciso utilizar algún equipo de protección personal.

La empresa adoptará las medidas necesarias a fin de garantizar que sólo los trabajadores que hayan recibido información suficiente y adecuada puedan acceder a las zonas de riesgo grave y específico, entre éstas:

- Instrucciones relativas al funcionamiento normal, incluido la puesta en marcha y la parada.
- Las instrucciones relativas al mantenimiento sistemático y la reparación, incluida la apertura sin peligro de los equipos, sistemas de protección y componentes.
- Las instrucciones relativas a la limpieza necesaria, incluyendo los procedimientos de trabajo seguro.
- Las instrucciones relativas a la identificación de averías y las acciones necesarias.
- Las instrucciones relativas a los ensayos de los aparatos, sistemas de protección y componentes, también después de una explosión.
- Información de los riesgos que requieren una acción, por ejemplo, se debe proporcionar información sobre la posible existencia de una atmósfera explosiva, para evitar que el trabajador actúe como fuente de ignición.
- Actuación ante situaciones de emergencia en la instalación.



## Formación de los Trabajadores

En los ámbitos de trabajo en que puedan formarse atmósferas explosivas en cantidades que amenacen la seguridad y salud de los trabajadores, debe asegurarse la vigilancia apropiada durante la presencia de trabajadores, de conformidad con la evaluación de riesgos, mediante la utilización de los medios técnicos (recursos preventivos) apropiados. Se debe informar a los trabajadores de los riesgos de explosión existentes en el lugar de trabajo y de las medidas de protección adoptadas. En esta información debe explicarse:

- Cómo y en qué puntos del lugar de trabajo surge el riesgo de explosión.
- Hay que indicar las medidas de protección contra las explosiones y explicar su funcionamiento.
- La manipulación correcta de los equipos de trabajo disponibles.

Los trabajadores deben ser formados para la ejecución segura de las tareas en áreas de riesgo o en la proximidad de éstas. Esto incluye la explicación del significado de la posible señalización de las áreas de riesgo e indicación de los equipos móviles cuya utilización está autorizada en estas áreas. Además, también debe informarse a los trabajadores de los equipos de protección personal que deben utilizar durante el trabajo. La formación debe hacer referencia igualmente a las instrucciones de servicio existentes. La obligación de formación se aplica igualmente a los trabajadores de empresas ajenas. Debe documentarse por escrito la fecha, el contenido y los participantes en las acciones de formación.

Por lo tanto, la formación organizada por el empresario, debe informar a los trabajadores de los riesgos de explosión existentes en el lugar de trabajo y de las medidas de protección adoptadas. Los trabajadores serán formados para la ejecución segura de las tareas en áreas de riesgo o en la proximidad de éstas. Esto incluye la explicación del significado de la señalización de las áreas de riesgo e indicación de los equipos móviles. Se informará a los trabajadores de los equipos de protección individual que deben usar durante el trabajo. La formación hará referencia a las instrucciones de servicio existentes.

La formación se realizará (según Dir. 89/391/CEE):

- A la contratación (antes de comenzar la actividad).
- Cuando se realice un traslado o modificación de las tareas.
- Cuando se introduzcan nuevos equipos de trabajo o se realicen modificaciones de los equipos.
- Cuando se introduzcan nuevas tecnologías.

La formación de los trabajadores se efectuará a intervalos como máximo de un año.

## Permisos de Trabajo

Si dentro o en los alrededores de un área de riesgo se realizan trabajos que pudieran dar lugar a una explosión, dichos trabajos deben ser autorizados por la persona designada por la empresa. Esto se aplica también a los procesos de trabajo que puedan plantear riesgos por solaparse con otros trabajos.

Para tales casos se usará un "permiso de trabajo" que se realiza mediante un formulario de autorización para trabajar, que deben recibir y firmar todos los participantes.

Al término de los trabajos debe comprobarse si sigue manteniéndose o se ha restablecido la seguridad de la instalación. Debe informarse a todos los participantes sobre la finalización de los trabajos.

Si dentro o en la proximidad de un área de riesgo se realizan trabajos que pudieran dar lugar a una explosión, dichos trabajos deben ser autorizados por la persona responsable de la empresa. Este principio se aplicará también a los procesos de trabajo que puedan plantear riesgos por solaparse con otros trabajos. Para tales casos será necesaria la obtención del permiso de trabajo (formulario para trabajar, que deben recibir y firmar todos los participantes).



**ILUSTRACIÓN 4.** Señalización Permiso de Trabajo y Clasificación Zonas (Por cortesía de Nanta)

Téngase en cuenta NTP 30

### Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento comprende las operaciones de reparación, conservación, inspección y verificación. Antes de empezar un mantenimiento, es preciso informar a todos los participantes y autorizar dichos trabajos a través de permisos de trabajo.

Los trabajos de mantenimiento deben confiarse únicamente a personas capacitadas para ello.

En los trabajos de mantenimiento se efectuará una separación mecánica y/o eléctrica de los equipos o partes de instalaciones que pudieran provocar una explosión en caso de puesta en marcha involuntaria durante estos trabajos. En el caso de trabajos de mantenimiento con riesgo de ignición, debería excluirse la presencia de una atmósfera explosiva peligrosa mediante:

- Gases: técnicas de barrido, inertizado o dilución, seguida de la pertinente comprobación de la instalación por personal experto y cualificado.
- Polvo: Limpieza por aspiración de las capas de polvo y/o humedecer la zona, seguida de la pertinente comprobación de la instalación por personal experto y cualificado.

Deber asegurarse la ausencia de ATEX durante el tiempo que duren los trabajos y, en caso necesario, también durante cierto tiempo adicional.

En los trabajos que puedan producir la proyección de chispas debe preverse un apantallamiento adecuado y se mantendrá un seguimiento durante las 10 h siguientes a la finalización de los trabajos. Una vez terminados los trabajos de mantenimiento es necesario cerciorarse de que, antes de reanudarse el servicio normal, vuelvan a estar activadas las medidas de protección contra explosiones necesarias para dicho funcionamiento normal.



En los trabajos de mantenimiento y reparación, será de aplicación el sistema de permisos de trabajo.

Son mantenimientos programados con previsión y que se realizan de forma periódica. A ser posible, en los trabajos de mantenimiento debería efectuarse una separación mecánica y / o eléctrica de los aparatos o partes de instalaciones que pudieran provocar una explosión en caso de puesta en marcha involuntaria durante estos trabajos.

Algunas de las medidas preventivas para evitar el riesgo de explosión son:

- Mantener y lubricar los cojinetes periódicamente.
- Mantener y comprobar la alineación de los elementos mecánicos, así como sus tolerancias.
- Medir periódicamente el calentamiento de los elementos mecánicos para evitar sobrecalentamientos.
- Comprobar que todos los componentes están puestos a tierra. Mantenimiento y revisión periódica.
- Comprobar que todos los equipos eléctricos cumplen las exigencias del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.
- Eliminar los rebordes, esquinas, hendiduras, grietas y resquicios donde pueda acumularse polvo.
- Eliminar el polvo que pueda derramarse en el exterior, impidiendo que pueda acumularse.
- Reparar inmediatamente las pérdidas de aceite.
- No llevar a cabo operaciones de corte y soldadura sin ausencia de atmósfera explosiva

### Señalización de Zonas con Riesgo de Explosión

Allí donde sea preciso se señalarán los accesos a las zonas con riesgo de atmósferas explosivas para la seguridad y salud de los trabajadores con la señal de advertencia siguiente:



Cuando el área de riesgo no abarque la totalidad del local sino sólo una parte del mismo, esta área podrá señalizarse mediante un rayado amarillo y negro aplicado, por ejemplo, en el suelo o en su defecto se colocará en la zona afectada un plano aclaratorio de la extensión de las distintas zonas.



La señalización puede completarse con otras explicaciones que indiquen, por ejemplo, el modo y frecuencia de aparición de una atmósfera explosiva peligrosa. Deben colocarse otras señales de advertencia, por ejemplo, la prohibición de fumar, etc. En el contexto de la formación, debe informarse a los trabajadores de la señalización y de su significado.





## 10.2 Medidas para reducir la atmósfera explosiva

### Aspiración localizada

Debido a la presencia de polvo se puede dar lugar a mezclas explosivas siendo por este motivo interesante la instalación de sistemas de aspiración localizada en lugares como en la carga y descarga de cintas transportadoras, tolvas, puntos de transferencia, elevadores de cangilones, clasificadores molinos, carga y descarga de camiones etc.

Mantener el interior de los equipos en depresión no solamente ayuda a reducir la concentración de polvo en el interior de equipos sino que también ayuda a evitar fugas al exterior lo que hará las tareas de limpieza y mantenimiento mucho menos costosas. Además nos permitirá en muchos casos, poder desclasificar el exterior de los equipos lo que sin duda ayuda a la hora de adecuar una instalación a normativa ATEX.

Los ventiladores deben poseer un nivel de protección acorde a la zona donde ha de ser emplazado y caudal suficiente para evitar la formación de nubes de polvo y evitar acumulaciones en los conductos.

Es recomendable el uso de sistemas de aspiración individuales para cada equipo o sistemas para varios equipos, pero sólo en aquellas situaciones donde no sea posible la propagación de las llamas al resto de la instalación.



**ILUSTRACIÓN 5.** Aspiración localizada en transportador de cadena  
(Por cortesía de Nanta)

### Detección de Gases

En instalaciones industriales de todo tipo y por supuesto en fábricas de piensos es habitual encontrar calderas, ya sea para la generación de vapor como para agua caliente. En muchas de estas calderas el combustible es gas natural, gas ciudad, propano, butano, etc. En las instalaciones que manejan gases combustibles existe la posibilidad de escapes produciendo nubes de gas en el aire y generando atmósferas potencialmente explosivas.

Es por tanto necesario controlar posibles escapes de gas ya sea mediante una buena ventilación para lo cual se puede tomar como referencia la norma EN 60079-10 o mediante la detección temprana de escapes con ayuda de detectores de gas.



*ILUSTRACIÓN 6. Detección de Gases*

## 10.3 Medidas para evitar fuentes de ignición

### 10.3.1 Control de temperatura

Como ya se ha mencionado anteriormente las superficies calientes constituyen una fuente potencial de ignición de atmósferas explosivas por lo que su eliminación se hace necesaria en aquellos casos donde no es posible el control de la atmósfera explosiva.



*ILUSTRACIÓN 7.  
Molino de martillos.  
Control temperatura en  
rodamientos e interior  
de cámara de molienda  
(Por cortesía de Nanta)*



Es habitual instalar sensores de temperatura en rodamientos, motores, reductores, en el interior de equipos como secadores, molinos y por lo general en el interior de todos aquellos equipos susceptibles de recalentar el producto, que procesan y que pueden superar la temperatura de inflamación en capa o en nube o simplemente pueden acelerar el proceso de auto-combustión.

La temperatura de tarado suele estar comprendida entre: +50 y +120°C

Es también importante instalar equipos para el control de temperatura que dispongan de un nivel de protección acorde a la zona de riesgo donde vayan a ser emplazados.

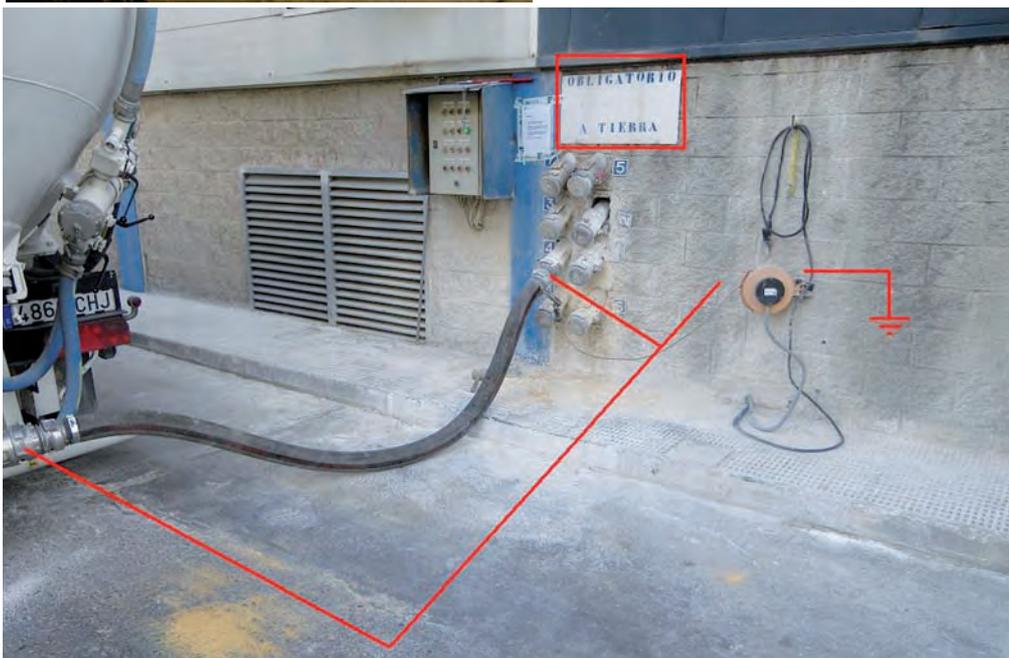
### 10.3.2 Puesta a tierra

Otra potencial fuente de ignición son las descargas por energía estática. Para evitarlas es muy importante la puesta a tierra de los equipos de manera que se garantice una buena continuidad equipotencial en toda la instalación. Se recomienda prestar especial atención a la continuidad eléctrica de los conductos de transporte neumático.



**ILUSTRACIÓN 8.**  
*Cable de continuidad en conducto de transporte neumático*

**ILUSTRACIÓN 9.**  
*Puesta a tierra de camiones durante la descarga  
(Por cortesía de Nanta)*





En aquellas instalaciones donde se maneje polvo combustible fino y seco es previsible que se formen atmósferas explosivas que inflamarán con fuentes de ignición de muy baja energía, siendo en estos casos el riesgo de inflamación por descargas de estática. Es en estos equipos muy importante evitar descargas de estática para lo cual se utilizarán materiales conductores en la medida de lo posible. Un ejemplo es el uso de big-bag contruidos a base de materiales disipativos, puestos a tierra mediante pinzas homologadas.



**ILUSTRACIÓN 10.** Big-Bag Tipo B

Durante la descarga de camiones cisterna por transporte neumático se producen rozamientos causantes de una gran acumulación de estática que puede desencadenar en la descarga de arcos muy energéticos capaces de inflamar cualquier atmósfera explosiva. Por este motivo se recomienda el uso de pinzas ATEX certificadas de puesta a tierra como en la Ilustración 9.

### 10.3.3 Control de giro

Al variar las condiciones de trabajo de cualquier equipo de transporte de sólidos es posible generar sobreesfuerzos, atascos, rotura de ejes, etc. Durante este tipo de disfunciones es normal que se produzca rozamiento entre el producto transportado y partes fijas lo que lleva a un calentamiento del producto hasta formar partículas incandescentes e incluso incendios y finalmente una explosión en el caso de estar presente una atmósfera explosiva.

El control de giro es una medida muy eficaz para evitar este tipo de disfuncionamientos peligrosos en equipos.

El control de giro monitoriza la velocidad de rotación en el eje. Cuando la velocidad alcanza un valor inferior al límite de seguridad preestablecido, el controlador emite una señal de alarma, debiendo en este momento parar el proceso de forma segura y comprobar el equipo.

### 10.3.4 Control de desvío

Este sistema se instala básicamente en elevadores de cangilones y cintas transportadoras. Está basado en la instalación de detectores a ambos lados de la banda, lo más cerca posible de las poleas motriz y tensora.

La instalación de un sistema eficaz de detección y control de desvío de banda evitará situaciones peligrosas debidas al rozamiento de la banda con las partes fijas del equipo, evitando así superficies calientes, partículas incandescentes e incendios que podrían desencadenar una explosión.



*ILUSTRACIÓN 11. Control de giro en elevador de cangilones  
(Por cortesía de Skretting)*



*ILUSTRACIÓN 12. Detector desvío de banda en elevador  
de cangilones (Por cortesía de Skretting)*

### 10.3.5 Detección de chispa

En equipos de transporte neumático, mecánico, molinos, prensas granuladoras en los que se transporten o procesen materiales inflamables pueden ocasionarse partículas incandescentes en caso de un excesivo rozamiento. También es posible que a los equipos les lleguen partículas incandescentes como consecuencia de una autocombustión previa en los silos de almacenamiento o incluso en el interior de otros equipos. Las partículas incandescentes son muy peligrosas pues constituyen fuentes de ignición de alta energía pudiendo producir incendios y explosiones.

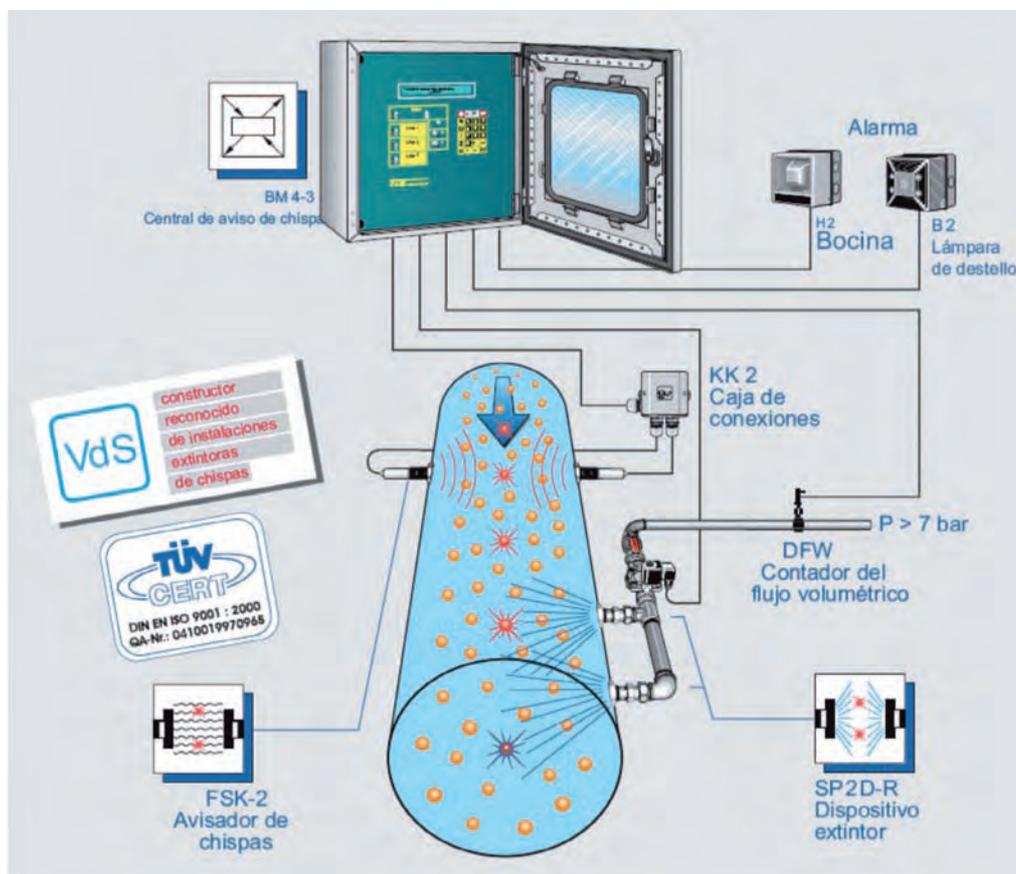
Todos estos equipos pueden estar protegidos con instalaciones de detección y extinción de chispas.

Componentes habituales de estos sistemas son:

- Detector de chispas
- Central de aviso de chispas (Controlador)
- Dispositivo extintor de chispas

Funcionamiento

Los detectores de chispas, envían una señal de alarma a la central de aviso y esta actúa en un margen de milisegundos activando un dispositivo extintor o una válvula de cierre rápido o de desvío. Los agentes extintores más utilizados son CO<sub>2</sub> o agua.



**ILUSTRACIÓN 13.** Esquema sistema detección y apagado chispas (Por cortesía de T&B Electronic)



**ILUSTRACIÓN 14.** Equipo detección chispas en enfriador  
(Por cortesía de Nanta)

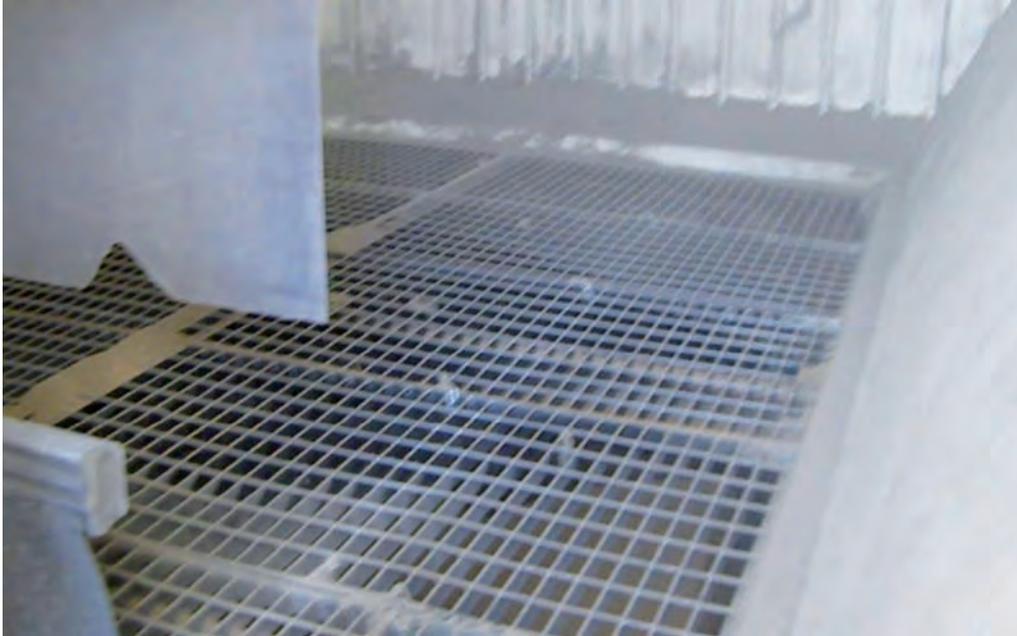
### 10.3.6 Eliminación de cuerpos extraños

La presencia de cuerpos extraños resulta un peligro importante ya que este es el motivo de numerosas disfunciones en los equipos que producen fuentes de la ignición del tipo superficies calientes, chispas mecánicas por impacto, incendios, etc. Todas ellas con capacidad para inflamar una atmósfera explosiva. Es por lo tanto muy recomendable el uso de dispositivos que reduzcan o eviten la presencia de cuerpos extraños como piedras, metales, maderas etc.

Algunos de estos dispositivos son imanes, detectores de metales, limpias neumáticas, tamices clasificadores, rejillas, etc.



**ILUSTRACIÓN 15.**  
Imán previo a  
almacenamiento  
(Por cortesía de Nanta)



*ILUSTRACIÓN 16. Rejilla en tolva de recepción*



*ILUSTRACIÓN 17. Sistema de limpieza de cuerpos extraños en alimentador de molino (Por cortesía de Nanta)*



## 10.4 Medidas de protección

### 10.4.1 Supresión de explosión

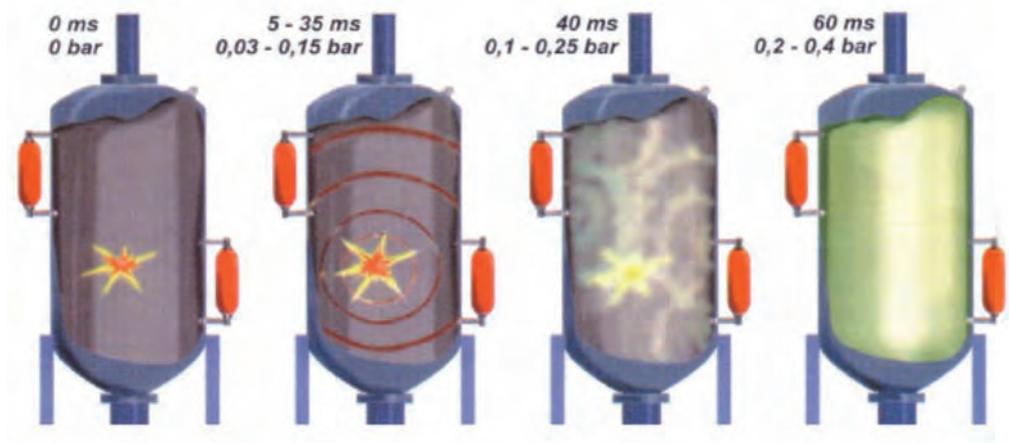
La supresión de explosión es un medio de protección apropiado tanto para depósitos como para equipos. El agente extintor suprime la combustión de una explosión en su estado inicial evitando así el aumento súbito de presión en el interior del equipo o recipiente.

El tiempo de actuación es de tan solo unos milisegundos, liberando el agente extintor en el interior del equipo o recipiente a proteger y permitiendo al sistema suprimir una explosión cuando está en su fase inicial, extinguiendo las llamas y reduciendo la presión final hasta valores admisibles por el equipo a proteger.

La supresión constituye una alternativa a tener en cuenta en aquellos equipos o depósitos que por estar en el interior de instalaciones no es posible proteger por otros métodos. Este es el caso de numerosos elevadores de cangilones, molinos, tolvas, filtros de mangas, etc.

Elementos básicos del sistema de supresión son:

- Detectores de presión
- Equipo del control
- Botellas con agente extintor



*ILUSTRACIÓN 18. Desarrollo de una explosión con supresión*

### 10.4.2 Venteo de Explosión

Es un medio de protección apropiado para equipos, depósitos, silos, etc. Consiste en la instalación de membranas débiles que rompen en caso de explosión a una presión preestablecida, liberando la sobrepresión y llamas a una zona segura.

Existen diferentes sistemas de venteo como son las puertas de explosión, paneles de venteo, venteo sin llama, etc.

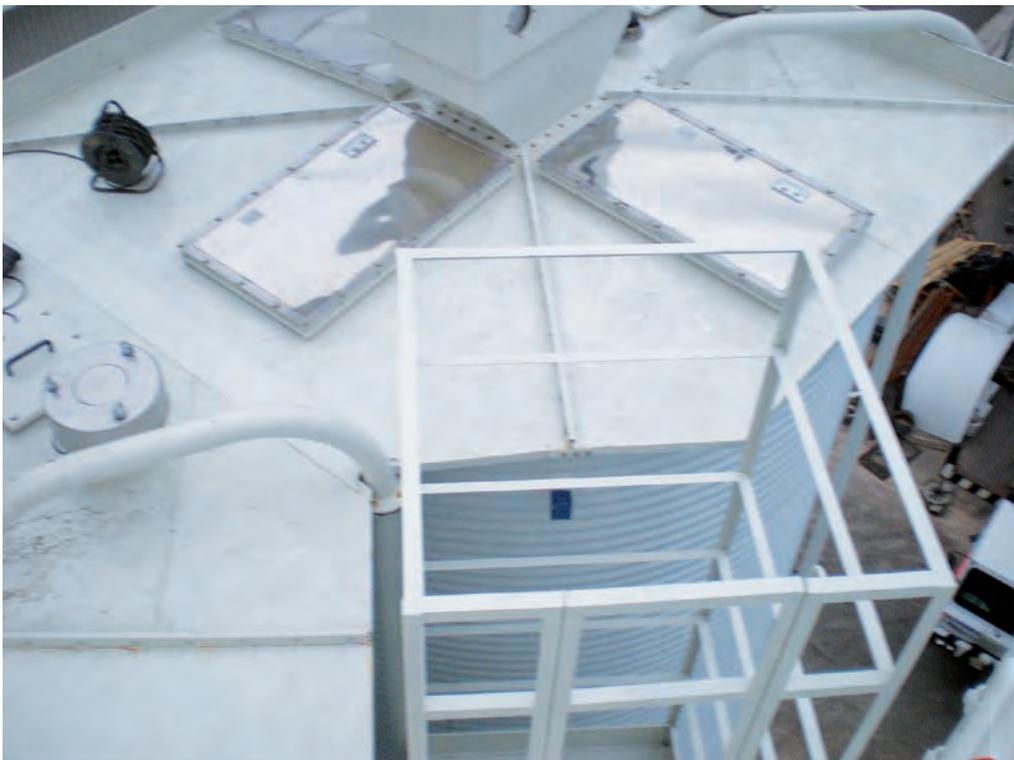
El sistema más utilizado por su versatilidad y coste son los paneles de venteo.

Por tratarse de un sistema de protección contra la explosión los dispositivos de venteo deben haber sido previamente certificados por un Organismo Notificado, siendo además una garantía de funcionamiento.

Su instalación se realiza básicamente en todos aquellos equipos o recipientes cerrados en cuyo interior existe una atmósfera explosiva de forma continua o es previsible su formación en funcionamiento normal y cuya ignición resultaría en una explosión. Algunos ejemplos de aplicación son elevadores de cangilones, tolvas, silos, molinos, ciclones, filtros de mangas, etc.



*ILUSTRACIÓN 19. Montaje de venteo en silos y conducto al exterior  
(Por cortesía de Emasa)*



*ILUSTRACIÓN 20. Montaje de venteo en cubierta de silos  
(Por cortesía de Impex Europa, S.L.)*



**ILUSTRACIÓN 21.** Montaje de venteo en elevador de cangilones  
(Por cortesía de Adix.)

### 10.4.3 Venteo sin llama

En aquellas instalaciones donde el venteo convencional de equipos no es posible por encontrarse estos en el interior de la instalación y a cierta distancia de cualquier zona segura, el venteo sin llama resulta una solución muy apropiada.

La base de su función de protección contra la explosión es la misma que en el venteo convencional, pero en este caso se confina la llama resultante de la explosión en el interior de una envolvente de malla u otro material poroso que absorbe su energía y la apaga, permitiendo el paso de los gases de combustión y descomprimiendo el equipo.

Debido a la temperatura de los gases de escape la instalación de estos equipos hace necesaria una zona de seguridad de entorno a 1-2m.



**ILUSTRACIÓN 22.** Montaje de venteo sin llama en filtro de mangas  
(Por cortesía de Skretting.)



#### 10.4.4 Aislamiento de Explosión

Para hacer una protección eficaz contra la explosión no resulta suficiente la instalación de dispositivos que reduzcan la presión resultante y controlen las llamas, además es necesario evitar la propagación de la explosión a otros equipos o recipientes de la planta, que en caso contrario resultaría en una letal explosión secundaria. Es por ello que se deben instalar dispositivos que eviten la propagación de la explosión de forma eficaz.

Los dispositivos de aislamiento pueden clasificarse en activos y pasivos.

#### 10.4.5 Dispositivos activos

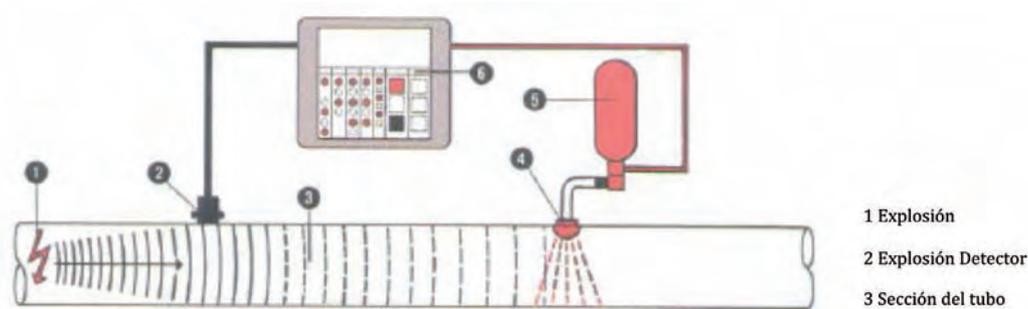
##### ***Válvulas de cierre automático que actúan previa detección de la explosión.***

Previene la propagación de presión y llamas.

Se instalan en conductos con polvo, así como conductos de salida de elevadores, etc.

##### ***Barreras de aislamiento químico HRD Antiexplosion barrera automatica***

Con este dispositivo de protección es posible detectar y actuar sobre explosiones producidas en conductos. Para la detección de explosión es posible la utilización de detectores ópticos y/o de presión que mediante un sistema de control permite activar el sistema y así crear una barrera de agente extintor en el interior del conducto recto que impida el avance de la explosión.



**ILUSTRACIÓN 23.** Barrera de aislamiento de explosión químico

#### 10.4.6 Dispositivos pasivos

##### ***Válvulas antirretorno de explosión***

El cierre es automático al producirse una explosión, debido al avance de presión se cierra una clapeta interior que evita el paso de llamas y presión al otro lado del conducto. Existen en el mercado válvulas unidireccionales y bidireccionales. Se instalan en conductos de aspiración localizada con baja concentración de polvo.



**ILUSTRACIÓN 24.**  
Válvula antirretorno de explosión  
(Por cortesía de Adix.)



### 10.4.7 Válvulas rotativas y tornillos sinfín

Es necesario el paro automático en caso de explosión. Contienen la propagación de presión y llamas ayudando a la protección de la instalación.



*ILUSTRACIÓN 25. Alimentadores de tornillo sinfín pueden actuar como aislamiento de explosión (Por cortesía de SABMiller plc.)*



*ILUSTRACIÓN 26. Válvulas rotativas certificadas para aislamiento de explosión*

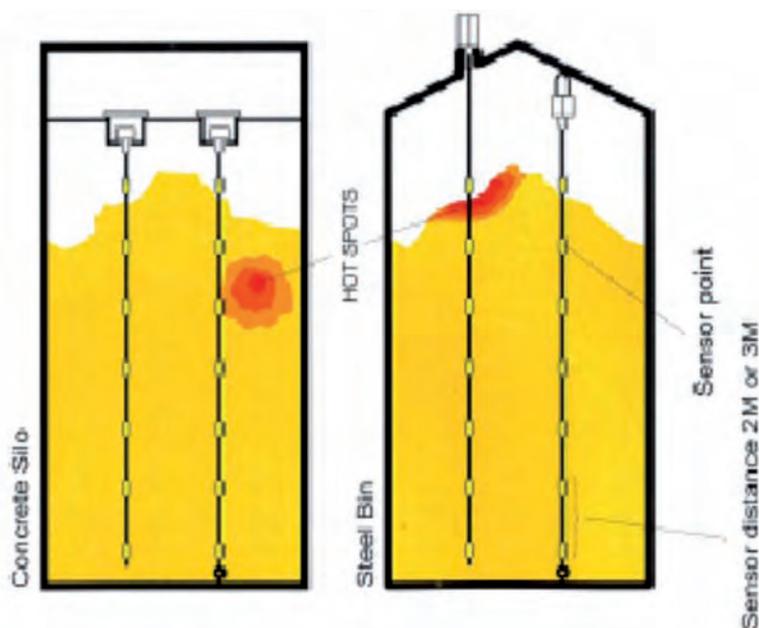


## 10.5 Protección contra incendios

### 10.5.1 Detección de incendios

Consiste en disponer de detectores de infrarrojos, temperatura, CO, etc. en distintos puntos de la instalación susceptibles de auto combustión o incendio

Los componentes de este sistema son: Detectores y controlador.



*ILUSTRACIÓN 27. Control de temperatura en silos para evitar auto combustión*

### 10.5.2 Extinción de incendios

La extinción de incendios es normalmente realizada mediante agentes extintores como agua nebulizada, gases inertes, espuma etc.

Siendo recomendable la no utilización de agua en el caso de incendios en silos pues de hacerlo se corre el riesgo de colapsar la estructura del silo. En este caso una extinción mucho más eficaz, sería utilizando gases inertes como el nitrógeno o dióxido de carbono.



*ILUSTRACIÓN 28. Extinción de incendios en filtro de mangas (Por cortesía de Nanta)*



# 11. Redacción del Documento de Protección contra Explosiones

## Introducción

- El documento de protección contra explosiones tiene por objeto dar una visión de conjunto de las conclusiones de la evaluación de riesgos y de las medidas técnicas y organizativas que se imponen en consecuencia para proteger una instalación y su entorno de trabajo.
- En el documento de protección contra explosiones no sólo se definen las medidas dispuestas para mantener los riesgos en niveles admisibles, sino también las medidas a adoptar para ello, que deberán planificarse, con arreglo a la magnitud de los riesgos de explosión previamente evaluados, así como los controles periódicos a adoptar con objeto de asegurar la vigencia de las situaciones consideradas como aceptables.

## Contenido del documento de protección contra explosiones

El documento de protección contra explosiones deberá reflejar, como mínimo lo siguiente:

- a. Que se han determinado y evaluado los riesgos de explosión.
- b. Que se tomarán las medidas adecuadas para lograr los objetivos del RD 681/2003.
- c. Las áreas que han sido clasificadas en zonas de conformidad con el Anexo I del RD 681/2003.
- d. Las áreas en que se aplicarán los requisitos mínimos establecidos en el Anexo II del RD 681/2003.
- e. Que el lugar y los equipos de trabajo, incluidos los sistemas de alerta, están diseñados y se utilizan y mantienen teniendo debidamente en cuenta la seguridad.
- f. Que se han adoptado las medidas necesarias, para que los equipos de trabajo se utilicen en condiciones seguras, de conformidad con el Real Decreto 1215/1997.



## Elaboración del documento de protección contra explosiones

- Se elaborará antes de que comience el trabajo.
- Se revisará siempre que se efectúen modificaciones, ampliaciones o transformaciones importantes en el lugar de trabajo, en los equipos de trabajo o en la organización del trabajo. Es un documento vivo, actualizado permanentemente.
- Podrá constituir un documento específico o integrarse total o parcialmente con la documentación general sobre la evaluación de los riesgos y las medidas de protección y prevención.
- Podrá remitir a otros documentos sin necesidad de incluirlos de forma explícita e íntegra en dicho documento.
- Formará parte de la documentación a que se refiere el artículo 23 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.
- Deberá estar estructurado lo mejor posible, resultar de fácil lectura y permitir una comprensión global.
- Podrá ser aconsejable configurarlo de manera flexible para poder ampliarlo si hiciera falta.
- Podrá resultar útil desglosarlo en una parte general y en otra específica a cada instalación.
  - o La parte general describiría la estructura de la documentación y de las medidas aplicables a todas las instalaciones.
  - o La parte específica a cada instalación enumeraría los riesgos y las medidas de protección correspondientes en cada caso.
- Deberá adaptarse a las condiciones operativas existentes en cada caso.
- Si las condiciones de explotación de una instalación cambian con frecuencia, la valoración y documentación deberán basarse, lógicamente, en el estado operativo más peligroso.

## Estructura tipo de un documento de protección contra explosiones

### Descripción del lugar de trabajo y de los sectores de actividad

- Se describen los sectores de actividad en los que existe peligro de atmósfera explosiva.
- La descripción puede incluir, por ejemplo:
  - o nombre de la empresa
  - o tipo de instalación
  - o denominación del edificio o del local
  - o responsables de la empresa
  - o número de trabajadores
- Las particularidades constructivas y geográficas pueden documentarse visualmente, por ejemplo, mediante:
  - o planos de situación
  - o planos de instalaciones
- Deben incluirse las salidas de emergencia y las vías de evacuación.

### Descripción de los procesos y/o actividades

- Los procesos correspondientes deben describirse con un texto breve acompañado, en su caso, de un diagrama del proceso.
- Esta descripción debe incluir todos los datos importantes para la protección contra explosiones:
  - o descripción de los pasos de trabajo, incluidos el arranque y la parada
  - o resumen de los datos de diseño y funcionamiento (p. ej. temperatura, presión, volumen, rendimiento, frecuencia de giro, carburante)
  - o tipo y envergadura de los trabajos de limpieza, en su caso
  - o datos sobre la ventilación del local, si procede



## Descripción de las sustancias utilizadas / parámetros de seguridad

- Se trata de describir, en particular:  
o qué sustancias provocan la formación de una atmósfera explosiva  
o en qué condiciones del procedimiento se produce ésta
- Resulta útil incluir una lista de los parámetros de seguridad pertinentes para la protección contra explosiones.

## Presentación de los resultados de la evaluación de riesgos

- Debe describirse dónde puede aparecer una atmósfera explosiva.
- Puede establecerse una distinción entre el interior de partes de instalaciones y el entorno.
- Debe tenerse en cuenta:  
o el funcionamiento normal  
o la puesta en marcha/parada  
o la limpieza  
o las disfunciones
- Cuando haya cambios en los procedimientos o productos, se incluirá el modo de proceder
- Las zonas de riesgo pueden presentarse tanto mediante texto como gráficamente mediante un plano de zonas.
- Se exponen los riesgos de explosión.
- Se describe el modo de proceder aplicado en la determinación de los riesgos de explosión.

## Medidas de protección adoptadas para la protección contra explosiones

- Se presentarán las medidas que se imponen para la protección contra explosiones.
- Debe mencionarse explícitamente el principio de protección perseguido, por ejemplo “prevención de fuentes de ignición efectivas”, etc.
- Puede resultar de interés una división en medidas técnicas y organizativas.

### A. Medidas técnicas

- Prevención

Dado que el enfoque de la protección de la instalación se basa, total o parcialmente, en medidas preventivas para evitar una atmósfera explosiva o las fuentes de ignición, es necesaria una descripción detallada de la aplicación de estas medidas.

- Construcción

Dado que la instalación se protegerá mediante la construcción resistente a la explosión, debe describirse la naturaleza, el modo de funcionamiento y la ubicación de esta medida.

### B. Medidas organizativas

- Las medidas de protección organizativas también se describen en el documento de protección contra explosiones

- Se debe reflejar:

- o Qué instrucciones de servicio existen para un puesto de trabajo o una actividad
- o Cómo se asegura la cualificación de los trabajadores.
- o Contenido y frecuencia de la formación (y quién ha participado).
- o Cómo se regula la utilización de equipos de trabajo móviles en las áreas de riesgo.
- o Cómo se asegura que los trabajadores sólo vistan ropa protectora adecuada.
- o Si existe un sistema de permiso para trabajar y cómo está organizado.
- o Cómo están organizados los trabajos de mantenimiento, control y comprobación.
- o Cómo están señalizadas las áreas de riesgo.

- Si existen formularios correspondientes a estos puntos, se pueden incluir como modelo en el documento de protección contra explosiones.

- También debe adjuntarse al documento una lista de los equipos de trabajo móviles autorizados para funcionar en atmósferas explosivas.

- El nivel de detalle dependerá del tipo y de la envergadura de la operación, así como del grado de riesgo que ésta entraña.



### **Realización de las medidas de protección contra explosiones**

- Debe reflejar quién es la persona responsable o encargada de la aplicación de determinadas medidas (también para la elaboración o actualización del documento).
- Debe indicar en qué momento es preciso aplicar las medidas y cómo se controla su eficacia.

### **Coordinación de las medidas de protección contra explosiones**

- Cuando en un mismo lugar de trabajo ejerzan su actividad empresarios de varias empresas, cada empresario será responsable de los ámbitos sometidos a su control.
- El empresario responsable del lugar de trabajo será quien coordine la realización de las medidas de protección contra explosiones, e incluirá en su documento de protección contra explosiones información más detallada sobre las medidas y las modalidades de realización de esta coordinación.

### **Anexo del documento de protección contra explosiones**

El anexo puede contener, por ejemplo:

- certificaciones examen CE tipo
- declaraciones de conformidad “CE” de fabricantes
- fichas de datos de seguridad
- instrucciones de funcionamiento de aparatos
- combustibles o equipos técnicos
- los planes de mantenimiento pertinentes a efectos de la protección contra explosiones



# Anexo: Explosividad de Materias Primas

Material	P <sub>máx</sub> (bar)	(dP/dt) <sub>máx</sub> (bar/s)	K <sub>máx</sub> (bar m/s)
Icing sugar	7,5	249	68
Maize grain dust	7,5	298	81
Wheat grain dust	8,1	544	148
Barley grain dust	7,1	185	50
Alfalfa	7,0	186	50
Bread-making wheat	8,1	530	144
Soybean dust	7,0	270	73

Median particle size values. An identical LEL value was observed (60 g/m<sup>3</sup>) for different samples of this material.

## IGNITABILITY AND EXPLOSIBILITY PARAMETERS FOR SOME AGRICULTURAL PRODUCTS.

Material	MIT-I (°C)	MIT-c (°C)	LEL (g/m <sup>3</sup> )	MIE (ml)	P <sub>máx</sub> (bar)	K <sub>máx</sub> (bar m/s)
Suflower flour	-	480	125	-	660	24
Maiza gluten	340	470	100	6300	670	28
Soy grass	-	510	-	-	520	8
Colza	-	460	150	2000	670	39
Dressing of wheat	290	440	30	1000	720	71
Mix of flour and bran	-	420	100	1800	680	40
Mix accumulated in silos	290	490	90	450	710	61
Mix accumulated in reception	290	440	25	120	780	102
Poultry feed	-	420	215	-	580	16



# Bibliografía

- [1] Ministerio de Industria y Energía. Real Decreto 400/1996 (B.O.E. 8/Abril/1996) sobre Aparatos y Sistemas de Protección para uso en Atmósferas Potencialmente Explosivas. (Directiva 94/9/CE ATEX 100A).
- [2] 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.(Directiva1999/92/CE ATEX 137).
- [3] Comunicación de la comisión relativa a la guía de buenas prácticas de carácter no obligatorio para la aplicación de la Directiva 1999/92/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a las 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. Bruselas, 25.8.2003 COM (2003) 515 final.
- [4] Norma UNE-EN 1127-1:2009. Atmósferas explosivas. Prevención y protección contra la explosión. Parte 1: Conceptos básicos y metodología.
- [5] Norma UNE-EN 13463-1:2003. Equipos no eléctricos destinados a atmósferas potencialmente explosivas. Parte 1: Requisitos y metodología básica.
- [6] Norma UNE-EN 13463-5:2004. Equipos no eléctricos destinados a atmósferas potencialmente explosivas. Parte 5: Protección por seguridad constructiva 'c'.
- [7] Norma EN 13463-6. Non-electrical equipment for potentially explosive atmospheres Part 6: Protection by control of ignition source 'b'.
- [8] Directiva 94/103/CEE del Consejo, por la que se modifica la Directiva Marco de Máquinas 89/392/CEE.
- [9] Directiva 1999/92/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 1999, relativa a las 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.
- [10] Directiva 1994/9 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de marzo de 1994, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas.
- [11] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Fichas de seguridad química. [<http://www.mtas.es/Insht/ipcsnspn/nspnsyn.htm>].
- [12] Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales (LPRL).
- [13] Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- [14] Norma EN 50281-1-1:1998. UNE 50281-1-2. Equipos eléctricos destinados a ser utilizados en presencia de polvo combustible.
- [15] Guía de aplicación de la Norma UNE-EN 60079-10 part2. Material eléctrico para atmósferas de polvo explosivas. Clasificación de emplazamientos peligrosos.
- [16] Norma UNE-EN61241-10. Material eléctrico para uso en presencia de polvo combustible. Clasificación de emplazamientos.
- [17] Norma UNE-EN61241-14 Material eléctrico para uso en presencia de polvo inflamable.
- [18] Dust Explosion Prevention and Protection Ed John Barton ISBN 0 7506 7519 3.
- [19] RASE 2000.
- [20] "Guía de buenas prácticas de carácter no obligatorio para la aplicación de la Directiva 1999/92/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a las 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", Comisión de las Comunidades Europeas, 2003.
- [21] Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las atmósferas explosivas en los lugares de trabajo. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- [22] Determination of parameters used to prevent ignition of stored materials and to protect against explosions in food industries. Álvaro Ramírez, Javier García-Torrent, Pedro J. Aguado. Journal of Hazardous Materials 168 (2009) 115–120.
- [23] Guía para la elaboración del plan de prevención contra explosiones en instalaciones de minería subterránea. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio Laboratorio Oficial J.M. Madariaga. Revisión 2006.
- [24] Dust Explosion Hazard Control. SABMiller plc – Group Technical. Group Insurance and Insurable Risk. 29 August 2007.
- [25] García Torrent, J. (editor); Seguridad Industrial en Atmósferas Explosivas; Laboratorio Oficial J.M. Madariaga, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Fondo para el Fomento de la Ingeniería Energética (2003).

Guía Aplicación ATEX  
en el sector de la  
alimentación animal

