

Prevención y protección de explosiones de polvo en instalaciones industriales



Xavier de Gea Rodríguez

Prevención y protección de explosiones de polvo en instalaciones industriales



FREMAP

*Mutua de Accidentes de Trabajo y Enfermedades
Profesionales de la Seguridad Social Número 61*

Notas Biográficas

Autor:

Xavier de Gea Rodríguez.
Licenciado en Ciencias Químicas UAB.
MBA ESADE.
Director LPG Prevención y Protección de explosiones.
Miembro del grupo de trabajo nacional (AEN/CTN 163).
Miembro de grupo internacional ESMG.

Colaboradores:

Javier García Torrent.
Dr. Ingeniero de Minas.
Profesor del departamento de Ingeniería Química y Combustibles (UPM).
Responsable del Área de Seguridad de Procesos Sólidos del LOM.
Miembro de grupos de trabajo nacionales (AEN/CTN 163 y AEN/CTN 22).
Miembro de grupos de trabajo internacionales (CEN TEC 305 y CEI TC31SC31H) para la elaboración de normativa en atmósferas explosivas.

Enrique Querol Aragón.
Dr. Ingeniero de Minas.
Profesor del departamento de Ingeniería Química y Combustibles (UPM).
Colaborador del LOM.

Marc Coupin Solà.
Ingeniero Químico IQS.
Consultor Senior.
INBUREX Consulting GmbH.

Xavier Martino Bofarull.
Director Técnico LPG Prevención y Protección de explosiones.
Miembro del grupo de trabajo nacional (AEN/CTN 163).
Miembro de grupo internacional ESMG.

Xavier Minoves Casals.
Ingeniero Técnico Industrial.
Técnico Superior en Prevención de Riesgos Laborales en las especialidades de Seguridad, Higiene y Ergonomía.
Coordinador de Prevención de FREMAP Cataluña.

«Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del Copyright, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos».

© 2007, FREMAP
Mutua de Accidentes de Trabajo y Enfermedades Profesionales
de la Seguridad Social Número 61.

Carretera de Pozuelo, 61
28222 Majadahonda (Madrid)

Depósito Legal: M-44271-2007

Diseño y realización: DiScript Preimpresión, S. L.

Impreso por: Imagen Artes Gráficas, S. A.



Agradecimientos

Siempre es sincero el agradecimiento a todos los que han colaborado en este libro directa o indirectamente. Nombrar a cada uno sería muy largo y por ello sólo me voy a limitar a los más allegados.

Sobre todo a Elisenda a la cual le he quitado mucho tiempo por la intensiva dedicación a mi trabajo espero que cuanto menos con este libro, pueda justificar algún fin de semana que la dejé sola disfrutando de la compañía de nuestros hijos Anna y Albert.

También quiero agradecer a mis colegas Xavier Martino y Gustavo Hidalgo mis más entrañables compañeros desde hace tantos años, a mis colegas que desinteresadamente han aportado todos sus años, que son muchos, de experiencia práctica en la protección con éxito de numerosas instalaciones, a Javier García Torrent, Enrique Querol, que han puesto a nuestra disposición su también dilatada experiencia en la caracterización de polvos combustibles. A Xavier Minoves y a Marc Coupin por sus valiosas aportaciones prácticas, a todos aquellos que, sin su ayuda y apoyo hubiera sido imposible llevar a buen puerto este proyecto que tanto nos ha ilusionado, no sólo por el contenido del mismo sino por la utilidad que vemos para todos los que lo lean.

A todos mis compañeros de LPG que con su profesionalidad y consejos han aumentado la calidad técnica y práctica del presente libro.

Desde luego tengo que agradecer a FREMAP su implicación en esta publicación, que en el marco de su importante actividad en prevención de riesgos laborales, ha entendido que puede ser útil para la mejora de las condiciones de seguridad y salud en los centros de trabajo y la reducción de la siniestralidad.

A todos, sinceramente, gracias.

*Xavier de Gea
Julio 2007*



Aviso al Lector

Este libro representa una guía para la prevención y protección contra explosiones de polvo en la industria, en ningún caso constituye un texto normativo o reglamentario, ni prescribe los requisitos que, ejecutados, garanticen la seguridad de esos procesos.

Se presentan ideas y soluciones para resolver ciertas necesidades que los profesionales en esta materia pueden plantearse. Estas ideas pueden servir de base para la ejecución de posibles aplicaciones de prevención y protección contra explosiones. Cada instalación es diferente y depende de muchas circunstancias y la solución que puede ser válida para una puede no serlo para otra; es por ello que se aconseja el asesoramiento profesional en cada una por separado.

Si de la lectura del presente libro se consigue la mejora en la seguridad del equipo, del proceso o de la instalación, el presente libro habrá conseguido su objetivo.



Índice

Introducción	XI
Marco normativo	XV
Capítulo 1. Parámetros de seguridad de las sustancias sólidas	1
1.1. Atmósferas explosivas por polvo	3
1.2. Caracterización de las sustancias pulverulentas.....	4
1.2.1. Características generales	4
1.2.2. Sensibilidad a la ignición	5
1.2.3. Severidad de la explosión	6
1.2.4. Susceptibilidad térmica.....	8
1.2.5. Estabilidad térmica	11
1.2.6. Transporte de mercancías peligrosas	12
1.2.7. Sensibilidad al choque o al frotamiento	13
Capítulo 2. La clasificación en zonas	15
2.1. La clasificación en zonas	17
2.1.1. Clasificación de las áreas de trabajo	18
2.1.2. Clasificación del interior de los equipos	23
2.2. Resumen	25
Capítulo 3. La prevención de incendios y de explosiones	27
3.1. Técnicas de prevención	29
3.1.1. Técnicas organizativas.....	29
3.1.2. El control de la electricidad estática	30
3.1.3. Extinción de chispas	30
3.1.4. Detección de CO (Monóxido de Carbono).....	31
3.1.5. Medición de la vibración.....	32
3.1.6. Medidores de alineamiento.....	32
3.1.7. Sensores de atasco o continuidad.....	33
3.1.8. Sensores de temperatura	33
3.1.9. Extracción de cuerpos extraños	33
3.1.10. Medidores de velocidad	34
Capítulo 4. Técnicas de protección	35
4.1. Recipientes resistentes a la explosión	37
4.2. Venteo de explosiones	37
4.2.1. Venteo a través de conducto	39
4.2.2. Localización de los venteos.....	40
4.2.3. Tipo de dispersión del polvo	41
4.2.4. Venteo a una zona segura.....	41



4.2.4.1. Distancia de seguridad.....	41
4.2.4.2. Galerías de venteo.....	42
4.3. Supresión de explosiones.....	43
4.3.1. Detector.....	43
4.3.2. Unidad de control	43
4.3.3. Supresor.....	44
Capítulo 5. La prevención y protección de explosiones en filtros de mangas:	45
5.1. Filtros de mangas	47
5.2. Fuentes de ignición.....	48
5.3. Técnicas de prevención	50
5.4. Técnicas de protección.....	50
5.4.1. Tabla de selección.....	51
5.4.1.1. El venteo de explosiones, consideraciones	51
5.4.1.2. Posibles ubicaciones del venteo	52
5.4.1.3. La supresión de explosiones, consideraciones	55
5.4.1.4. El aislamiento de explosiones, consideraciones	55
Capítulo 6. La prevención y protección de explosiones en molinos	57
6.1. Molinos.....	59
6.2. Fuentes de ignición.....	60
6.3. Técnicas de prevención	61
6.4. Técnicas de protección	62
6.4.1. Tabla de selección.....	63
6.4.1.1. Molinos resistentes a la explosión.....	63
6.4.1.2. El venteo de explosiones, consideraciones	63
6.4.1.3. La supresión de explosiones, consideraciones	64
6.4.1.4. El aislamiento de explosiones, consideraciones	64
Capítulo 7. La prevención y protección de explosiones en elevadores de cangilones	67
7.1. Elevador de cangilones.....	69
7.2. Fuentes de ignición.....	69
7.3. Técnicas de prevención	71
7.3.1. Selección del cangilón.....	71
7.3.2. La cadena elevadora.....	72
7.3.3. Selección de la banda y del cangilón.....	72
7.3.4. Prevención en los componentes.....	73
7.3.5. Sensores de alarma y/o paro	74
7.4. Protección de explosiones.....	75
7.4.1. Nivel básico: venteo	76
7.4.2. Nivel medio: venteo y aislamiento químico	78
7.4.3. Nivel máximo: supresión y aislamiento químico	79



Capítulo 8. La prevención y protección de explosiones en silos	81
8.1. Silos.....	83
8.2. Fuentes de ignición.....	83
8.3. Técnicas de prevención	85
8.4. Técnicas de protección	85
8.4.1. El venteo de explosiones en silos, consideraciones.....	85
8.4.1.1. Protección con paneles de venteo contra explosiones.....	86
8.4.1.2. Ubicación del venteo contra explosiones.....	87
8.4.1.3. El venteo sin llamas	88
8.4.1.4. La supresión de explosiones en silos, consideraciones	89
8.4.1.5. El aislamiento de explosiones en silos, consideraciones.....	89
Capítulo 9. El Documento de Protección Contra Explosiones	91
9.1. El Documento de Protección Contra Explosiones (DPCEX).....	93
9.2. Estructura del Documento de Protección Contra Explosiones	94
ANEXOS.....	97
Anexo A. Metodología de evaluación del riesgo	99
Anexo B. Modelo Permiso de trabajo en zonas ATEX.....	103
Anexo C. Modelo Permiso corte y soldadura.....	105
Anexo D. Modelo Control programa de limpieza	107
Anexo E. Modelo Señalización de trabajos especiales	108
Anexo F. Ficha ATEX	109
Anexo G. Tablas de explosividad	111
Anexo H. Documento de Protección Contra Explosiones...	117
BIBLIOGRAFÍA	135



Introducción

Lo que ha movido esta publicación es la aparición de una normativa específica al respecto de atmósferas explosivas (ATEX) tal como la directiva 92/1999 que se transpuso a la legislación española en el Real Decreto 681/2003, referente a la seguridad de los trabajadores expuestos al riesgo de atmósferas explosivas.

El contenido de este libro va destinado a la mejora de la seguridad de aquellos procesos industriales que manipulan sólidos combustibles. Nos hemos centrado en sólidos ya que, en comparación a gases y líquidos inflamables, existe un mayor desconocimiento de este riesgo.

El aspecto fundamental es saber que el polvo puede explotar y es por ello que debemos conocer su caracterización, la cual nos dirá que tan sensible es a la inflamación y que tan severa será su explosión.

Una vez caracterizado el sólido debemos saber dónde, y con que frecuencia, lo vamos a encontrar en forma de nube, ello nos lleva a la clasificación en zonas de la instalación industrial y a identificar éstas en zona 20, 21 y 22. Si realmente realizamos una correcta clasificación de las zonas, éstas deben ser mínimas, es decir, que queden confinadas en los equipos y recipientes. Hay que tener en cuenta que este polvo además de ser inflamable, a su vez forma parte de la razón de ser de la industria específica y que de su producción se deriva el rendimiento económico de la misma y que no va a ser lanzado a la atmósfera alegremente, no tan sólo por el peligro que genera, sino por el despilfarro económico que supone.

En cuanto a la clasificación en zonas queremos puntualizar que la existencia de zonas 21 en realidad debería ser poco frecuente. En la práctica se utiliza en demasía en los primeros documentos de protección contra explosiones que se están realizando.

La clasificación de zonas es la base de la prevención contra explosiones, ya que de su correcta identificación depende la selección de los equipos a instalar y / o utilizar.

Una vez que tenemos las zonas correctamente clasificadas y los equipos adecuados a las mismas debemos diseñar las medidas complementarias para la prevención y protección contra explosiones.

En definitiva existen dos aspectos muy importantes a considerar en un proceso industrial:

- ¿Dónde se va a producir una ignición?



- ¿Dónde, si se llega a producir una explosión, las consecuencias serán catastróficas?

Bajo estos dos puntos debemos diseñar la mejora de la prevención y protección contra explosiones en nuestro proceso industrial.

Las industrias afectadas por este riesgo no son sólo la industria química y farmacéutica, sino también las: harineras, fabricas de piensos, pastelería industrial, de la madera, de generación eléctrica con combustibles sólidos, etc... Y desde pequeños talleres hasta grandes factorías.

En todas estas industrias se dan procesos comunes, tales como el almacenaje en silos, que para su llenado utilizan sistemas de elevación, tales como transportes neumáticos, elevadores de cangilones, tornillos sin fin y transportadores. También estos sólidos son procesados para adquirir los tamaños idóneos, mediante procesos de molienda y clasificación. A su vez toda esta manipulación genera «finos» que no se pueden dejar salir del proceso y para ello se emplean sistemas de captación de polvo.

Teniendo en cuenta estos aspectos nos hemos centrado en tres sectores, como el de la fabricación de piensos, harineras e industria de la madera, que son aquellos sectores que tienen una mayor siniestralidad en cuanto a explosiones de polvo.

Así mismo, hemos desarrollado capítulos específicos para aquellos equipos comunes que, a su vez, son los causantes o los que generan las mayores explosiones. Estos equipos son:

- Los sistemas de captación de polvo, como los *filtros de mangas*.
- Los sistemas de elevación, como los *elevadores de cangilones*.
- Los sistemas de almacenamiento vertical, como los *silos*.
- Los sistemas de molienda, como *molinis de martillos*.

En cada uno de estos equipos hemos analizado, cualitativamente, que fuentes de ignición se pueden generar, cómo podemos prevenir su formación y cómo evitar que estas fuentes de ignición alcancen un lugar donde las consecuencias serían catastróficas. Así mismo, hemos analizado cómo controlar eficazmente estas explosiones, al objeto de que no pongan en peligro a las personas, ni a la continuidad del proceso industrial, minimizando las consecuencias de esta supuesta explosión.

Ya que la conclusión final, de todo proceso industrial con presencia de atmósferas explosivas, debe quedar plasmada en el documento de protección contra explosiones, hemos incluido un ejemplo del mismo a modo orientativo. Debe ajustarse exactamente a las características específicas de la industria a la que corresponde. *No existen dos documentos iguales*, ya que no sólo depende de los equipos eléctricos y mecánicos presentes, sino también del equipo humano que hace que estas máquinas funcionen, así como de la ubicación de la instalación. Es decir, diferente formación o el número de personas puede condicionar las medidas adoptadas, así mismo la ubicación de las instalaciones condiciona mucho las técnicas a emplear, ya que no es lo mismo que la instalación se encuentre aislada en el campo, en un polígono industrial o en una ciudad.



Además hemos querido añadir información de utilidad en los anexos, donde encontrarán ejemplos de permisos de trabajo con especial hincapié a dos de los procesos de mayor riesgo: el de corte de soldadura y el de uso de aire comprimido. Éste último, desconocido puede ser muy peligroso, ya que si una capa de polvo en sí no es una atmósfera explosiva, si lo será al ponerla en suspensión, (situación que se dará siempre que utilicemos aire comprimido para la limpieza) y es por ello que, si nos vemos obligados a emplear esta técnica, debemos estar completamente seguros que no coexisten fuentes de ignición.

También hemos añadido tablas de caracterización de varios sólidos a modo de referencia, ya que en situaciones reales debemos estar completamente seguros de los valores de nuestro producto y diseñar la prevención y protección contra explosiones para «el peor de los supuestos».

Por último, queremos comentar que la solución depende siempre del criterio del usuario final, el cual debe marcar el nivel de riesgo que quiere asumir en su instalación, bajo el criterio de no poner en riesgo a las personas, pero también considerando las consecuencias que implica una parada no deseada sobre nuestro proceso, nuestra imagen o nuestro mercado y clientes.

Esperamos que el presente libro les sea de utilidad.

Xavier de Gea
Enero 2007



Marco Normativo

En toda instalación industrial en la que se procesen sólidos inflamables es necesario aplicar la reglamentación sobre atmósferas explosivas, denominada habitualmente ATEX. El Real Decreto 400/1996 (1) establece los requisitos esenciales de seguridad que deben cumplir los equipos y aparatos eléctricos y no eléctricos que se instalen en lugares donde se pueden formar atmósferas explosivas, así como los procedimientos para la certificación y marcado de tales equipos.

En cuanto a las instalaciones, el Real Decreto 681/2003 (2) constituye la base legal para garantizar la protección de la seguridad y salud de los trabajadores expuestos a atmósferas explosivas. Como característica principal se incluye con carácter obligatorio la elaboración de un documento de protección contra explosiones, que debe incluir la clasificación de las áreas de riesgo en zonas y la realización de la evaluación del riesgo específico de explosión.

La norma UNE-EN 1127-1 (3) sobre conceptos básicos para atmósferas explosivas establece como primer elemento para la evaluación del riesgo de explosión, la identificación de peligros, donde el punto fundamental es el conocimiento de los datos de seguridad, de las materias y sustancias. Desgraciadamente, en las hojas de datos de seguridad, casi nunca aparecen los parámetros realmente importantes para el estudio de las atmósferas explosivas y es necesario buscar esos datos. En el caso de gases y vapores inflamables existen tablas muy completas y detalladas, como la que se incluye en la norma UNE 202007:2006 IN (4).

Existen también datos tabulados para polvos inflamables, aunque hay que manejar los datos con precaución, pues según detalla la norma UNE-EN 1127-1, *«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 repartición granulométrica y 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»*.

Uno de los aspectos fundamentales de las instalaciones con atmósferas explosivas es la clasificación de las áreas de riesgo en zonas. Para realizar dicha clasificación de zonas de una planta es necesario estudiar detallada-



mente cada equipo de proceso que contenga sustancias inflamables, y que represente una fuente potencial de escape, lo que implica el análisis de la posibilidad de aparición de atmósfera de gas explosiva según la norma UNE-EN 60079-10 (5) de acuerdo a las definiciones de zona 0, zona 1 y zona 2, o de atmósfera explosiva de polvo, según las definiciones de zona 20, zona 21 y zona 22 de la norma UNE-EN 61241-10 (6).

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

Todos los equipos eléctricos y no eléctricos que se instalen o que se introduzcan en las áreas específicas de riesgo de explosión, deben tener marcado CE para atmósfera explosiva, adecuado a la categoría de conformidad exigida por la clasificación en zonas, así como por las características particulares de la sustancia que genera la atmósfera explosiva: clase térmica del gas, subgrupo de gas, temperatura de inflamación de polvos, conductividad eléctrica, etc.

Tradicionalmente en la industria en general, los equipos eléctricos se han vigilado exhaustivamente frente a la presencia de posibles fuentes de ignición. Éstas se han venido evitando mediante los denominados «modos de protección», los cuales se establecen a partir de una serie de reglas constructivas de los materiales y equipos eléctricos de forma tal que puedan ser aptos para su empleo con seguridad, en una atmósfera explosiva. Los requisitos generales se pueden consultar en la norma UNE-EN 60079-0 (7) y los modos de protección en la serie de normas sucesivas.

Para los equipos eléctricos de potencia se pueden encontrar reglas de instalación más precisas para gases inflamables en la norma UNE-EN 60079-14 (8) y para sistemas de control en la UNE-EN 60079-25 (9) y para polvos combustibles en la norma UNE-EN 61241-14 (10).

Actualmente también los equipos no eléctricos deben cumplir ciertas exigencias. La norma UNE-EN 13463-1 (11) especifica los requisitos básicos de los equipos no eléctricos destinados a su uso en atmósferas potencialmente explosivas. Los tipos específicos de protecciones contra la ignición se describen en las normas complementarias a la anterior, denominadas EN 13463-2, EN 13463-3 y sucesivas hasta EN 13463-8.

Otra forma de prevenir las explosiones de gases y polvos combustibles consiste en evitar que la atmósfera sea capaz de propagarlas. Esto se puede conseguir, en determinadas instalaciones, mediante la inertización parcial o total de dicha atmósfera, reduciendo el contenido en oxígeno por debajo de los valores que permiten la propagación.

El documento prenormativo prCEN/TR 15281 (12) define las bases para la inertización de un lugar de trabajo con atmósferas explosivas.

Finalmente, para limitar los efectos de una explosión a un nivel seguro se pueden aplicar diferentes medidas.



- Construcción de aparatos de manera que puedan resistir a una explosión interna sin romperse, en sus dos modalidades (construcción resistente a la presión de explosión y construcción resistente al choque de la presión de explosión) según se describe en UNE-EN 14460 (13).
- Descarga de la explosión mediante venteos o aberturas (dotadas de discos de ruptura, paneles o válvulas de explosión) suficientes para evitar la destrucción de los aparatos, según las normas EN 14797 (14) y UNE-EN 14491 (15).
- El empleo de sistemas de supresión que impiden que la explosión alcance su presión máxima debido a la inyección rápida de agentes extintores en el aparato o componente, según UNE-EN 14373 (16).
- Utilización de sistemas de aislamiento y desconexión pasivos o activos capaces de impedir la propagación de las explosiones por canalizaciones, líneas de proceso, respiraderos, etc. según prEN 15089 (17).

Referencias

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 100).
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 (Directiva ATEX 137).
3. Norma UNE-EN 1127-1:1997. Atmósferas explosivas. Prevención y protección contra la explosión. Parte 1: Conceptos básicos y metodología.
4. Norma UNE 202007:2006 IN. Guía de aplicación de la Norma UNE-EN 60079-10. Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas. Clasificación de emplazamientos peligrosos.
5. UNE-EN 60079-10:2004. Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas. Parte 10: Clasificación de emplazamientos peligrosos. AENOR.
6. UNE-EN 61241-10:2005. Material eléctrico para uso en presencia de polvo combustible. Parte 10: Clasificación de emplazamientos en donde están o pueden estar presentes polvos combustibles.
7. UNE-EN 60079-0:2005. Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas. Parte 0: Requisitos generales.
8. UNE-EN 60079-14:2004. Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas. Parte 14: Instalaciones eléctricas en emplazamientos peligrosos (a excepción de las minas).
9. UNE-EN 60079-25:2005. Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas. Parte 25: Sistemas de seguridad intrínseca.
10. UNE-EN 61241-14:2006. Material eléctrico para uso en presencia de polvo inflamable. Parte 14: Selección e instalación.
11. UNE-EN 13463-1:2003. Equipos no eléctricos destinados a atmósferas potencialmente explosivas – Parte 1: Requisitos y metodología básica.



12. prCEN/TR 15281:2005. Guía de prevención de explosiones por inertización (Guidance on inerting for the prevention of explosions).
13. UNE-EN 14460:2006. Equipos resistentes a las explosiones.
14. EN 14797:2006. Dispositivos de venteo de explosiones (Explosion venting devices).
15. UNE-EN 14491:2005. Sistemas de protección por venteo de explosiones de polvo.
16. UNE-EN 14373:2006. Sistemas de supresión de explosiones.
17. prEN 15089:2004. Sistemas de aislamiento de explosiones (Explosion isolation systems).



1

Capítulo



Parámetros de seguridad de las sustancias sólidas

JAVIER GARCÍA TORRENT
ENRIQUE QUEROL ARAGÓN



Capítulo

1

Parámetros de seguridad de las sustancias sólidas

1.1. Atmosferas explosivas por polvo

Es frecuente que los productos sólidos generen polvo durante su procesamiento en operaciones de transporte, almacenamiento y, naturalmente, molienda o granulación. Un elevado número de sustancias sólidas procesadas en diversos sectores industriales son combustibles, en el sentido de poder reaccionar con el oxígeno de forma exotérmica, lo que se traduce en que el polvo puede resultar inflamado y dar lugar a una reacción rápida, que se manifiesta mediante una explosión. Por consiguiente, estas sustancias son inflamables y pueden generar atmosferas explosivas por el polvo.

Numerosos sectores industriales y operaciones de proceso implican el procesamiento de sólidos inflamables:

- Zonas de trabajo, manipulación y almacenamiento de las industrias alimentarias, químicas y farmacéuticas.
- Emplazamientos de pulverización de carbón y de su utilización subsiguiente.
- Plantas de coquización.
- Plantas de producción y manipulación de azufre.
- Zonas en las que se producen, procesan, manipulan o empaquetan polvos metálicos.
- Almacenes y muelles de expedición (sacos o contenedores).
- Zonas de tratamiento de textiles, como algodón, plantas desmotadoras de algodón.
- Plantas de fabricación y procesamiento de fibras, plantas de procesamiento de lino.
- Talleres de confección.
- Industrias de procesamiento de madera, tales como carpinterías.

Son muy numerosas las sustancias que pueden producir polvos y fibras inflamables: cereales, grano y derivados, almidón, heno y fertilizantes, azúcar, cacao, leche y huevo en polvo, especias y harinas, alimentos de animales domésticos, carbón y coque, azufre, aluminio, magnesio, titanio, rayón y otras fibras sintéticas, pigmentos, colorantes, vitaminas, principios activos, insecticidas, herbicidas, detergentes, serrín, celulosa, resinas, plásticos, polietileno, polipropileno, poliacrilo, etc.



Las características de estas sustancias son muy variables desde el punto de vista del riesgo asociado a la generación de atmósferas explosivas y es necesario determinar dichas características en la fase inicial de la evaluación del riesgo de explosión.

1.2. Caracterización de las sustancias pulverulentas

Podemos agrupar las distintas características de los sólidos pulverulentos en varios grupos, según la naturaleza de los parámetros que se determinen:

- Características generales.
- Sensibilidad a la ignición.
- Severidad de la explosión.
- Susceptibilidad térmica.
- Estabilidad térmica.
- Transporte de Mercancías Peligrosas.
- Sensibilidad al choque o frotamiento.

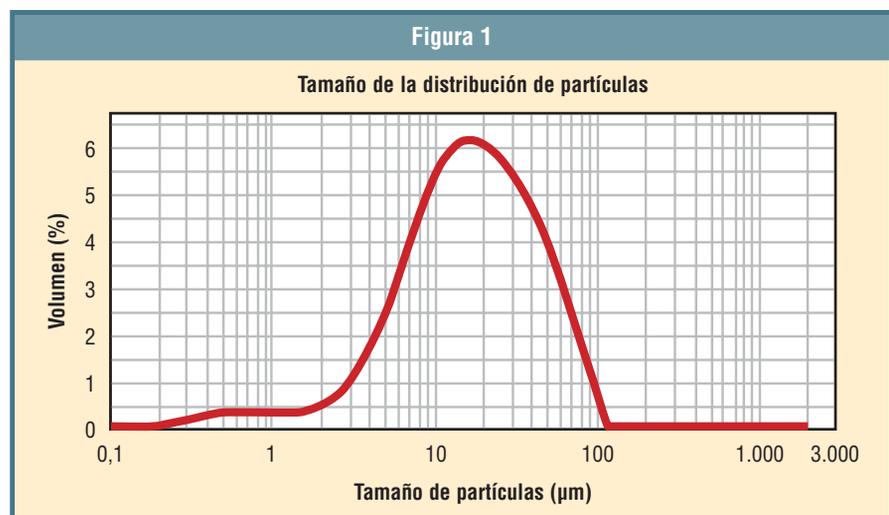
Analicemos cada uno de estos grupos.

1.2.1. Características generales

Las diferentes propiedades relacionadas con el comportamiento de los sólidos pulverulentos, dependen por completo de diversos parámetros, que pueden condicionar la reactividad superficial de la sustancia, como puede ser su pasivación por oxidación, ensuciamiento o contaminación superficial, etc. Estas características son difíciles de determinar y lo que debe hacerse, cuando se van a caracterizar los parámetros de una sustancia, es tomar una muestra lo más representativa y actual de dicha sustancia. Hay dos variables fundamentales que deben medirse siempre y asociarse a los diferentes parámetros que luego se determinen:

- La humedad.
- El tamaño de partícula.

La figura muestra una distribución típica de tamaños de partículas para un producto con un tamaño medio $D_{50} = 16,5 \mu\text{m}$, obtenida por difracción láser.



Entre las características generales se puede destacar la siguiente: *Resistividad eléctrica en capa, REC*. La resistividad en capa condiciona el grado de hermeticidad IP de los equipos eléctricos instalados en zona 22, según se especifica en la norma UNE EN 50281-1-2 (tabla I), de forma que si el producto es no conductor, bastará un IP 5X (protegido contra el polvo), mientras que si es conductor entonces deberá ser IP 6X (totalmente estanco al polvo).

Tabla I		
Zona 20	Zona 21 Zona 22 con polvo conductor	Zona 22
IP6X	IP6X	IP5X
Marcado II 1D	Marcado II 2D	Marcado II 3D

Grados de hermeticidad para los equipos eléctricos en áreas clasificadas.

1.2.2. Sensibilidad a la ignición

En este grupo se incluyen las características de las sustancias sólidas pulverulentas, granuladas o en forma de fibras relacionadas con su *facilidad para inflamarse* (sensibilidad a la ignición o inflamabilidad) frente a distintos tipos de fuentes de ignición (focos térmicos, descargas electrostáticas). Los parámetros característicos son (figura 2):



Temperatura mínima de inflamación, TMI. Es la menor temperatura a la que se inicia el proceso de inflamación de una muestra de polvo. Se puede realizar el ensayo con la muestra dispersada en forma de nube (TM_{In}), o depositada en forma de capa (TM_{Ic}).

Concentración mínima explosiva, CME. Es el límite inferior del intervalo de concentraciones de polvo en suspensión para el cual la mezcla aire-polvo es potencialmente explosiva. También se viene denominando límite inferior de explosividad, de forma similar a la designación habitual para gases inflamables.

Energía mínima de inflamación, EMI. Es la menor energía eléctrica almacenada en un condensador, que al descargarse es justo suficiente para producir la inflamación de la mezcla más inflamable de una nube de polvo, obtenida variando la concentración de polvo en el aire.

Estos parámetros se utilizan en la práctica fundamentalmente para el diseño e implantación de **medidas de prevención de la explosión**. Cuanto



más bajas sean las temperaturas, concentraciones o energías necesarias para que se inflame un producto pulverulento, más sensible será a la ignición y habrá que extremar las medidas de prevención:

- limitación de las temperaturas de proceso y
- las temperaturas superficiales en equipos y envolventes,
- eliminación de las capas de polvo mediante tareas de limpieza y
- mantenimiento más frecuentes y exhaustivos cuanto menor sea la CME,
- eliminación de posibles chispas o descargas electrostáticas mediante puestas a tierra, empleo de materiales antiestáticos, etc.

1.2.3. Severidad de la explosión

Cuando la inflamación de una sustancia se produce en un recinto cerrado se obtiene una explosión. Se pueden determinar experimentalmente ciertas características que permiten evaluar las *consecuencias de la explosión* (severidad de la explosión o explosividad). De esta forma se obtienen los parámetros básicos para el diseño de **medidas de protección contra la explosión**:



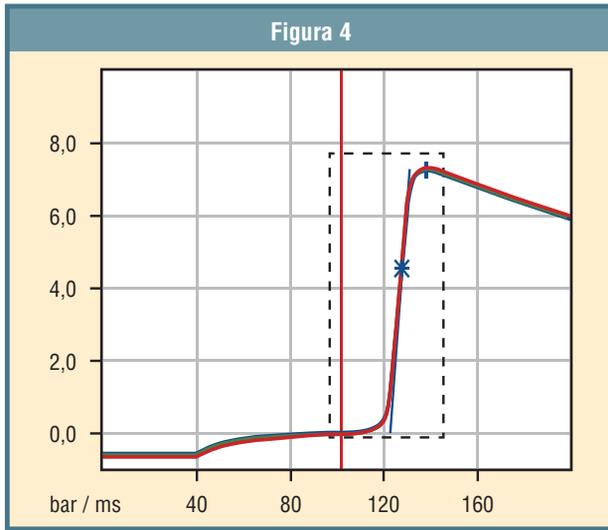
Presión máxima de explosión ($P_{\text{máx}}$). Es la diferencia entre la presión en el instante de la ignición (presión normal) y la presión en el punto culminante de la curva del registro presión-tiempo. La *velocidad máxima de aumento de presión con el tiempo ($(dP/dt)_{\text{máx}}$)* se define como la máxima pendiente de la tangente a la curva presión-tiempo a cada concentración nominal de polvo (figura 4).

Los valores de la presión máxima de explosión y la velocidad máxima de aumento de explosión se obtienen para diferentes curvas de explosión que se van obteniendo al variar la concentración de polvo entre amplios límites, típicamente desde 60 - 125 g/m³ hasta 1000 - 2000 g/m³. Los valores más altos obtenidos corresponderán a $P_{\text{máx}}$ y $(dP/dt)_{\text{máx}}$ (figura 5).

La constante característica ($K_{\text{máx}}$) se obtiene mediante el producto de la velocidad máxima de aumento de presión y la raíz cúbica del volumen del recinto donde se produce la explosión:

$$K_{\text{máx}} = \left(\frac{dP}{dt} \right)_{\text{máx}} V^{\frac{1}{3}}$$



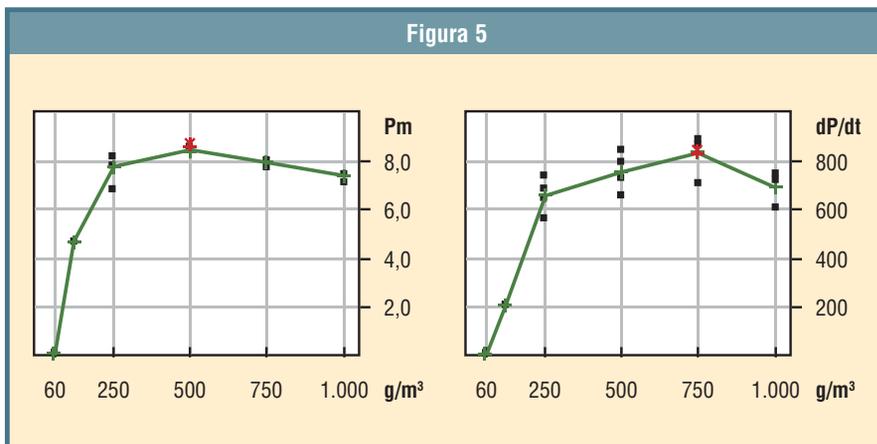


Curva presión-tiempo durante una explosión.

En función del valor de $K_{m\acute{a}x}$ se define la clase de explosión, según se indica en la tabla II.

Clase de explosión	$K_{m\acute{a}x}$ (m.bar/s)
St0	0
St1	1 - 200
St2	201 - 300
St3	> 300

Para ciertos procesos que funcionan con la atmósfera parcial o totalmente inertizada es de gran importancia el parámetro *Concentración límite de oxígeno, CLO*, que se define como el porcentaje de oxígeno por debajo del cual no hay ignición en el intervalo de concentraciones explosivas.



Variación de la presión de explosión y la velocidad máxima de aumento de presión con la concentración de polvo en suspensión.



1.2.4. Susceptibilidad térmica

En caso de considerar procesos de oxidación y autocalentamiento, suele recomendarse caracterizar, también, la *susceptibilidad térmica* de los productos para conocer su comportamiento térmico y la presencia de reacciones exotérmicas y determinar su tendencia a la autocombustión. Los parámetros característicos son (figura 6):



Índice de Maciejasz (IM). Este índice se obtiene al realizar un ensayo de reactividad al oxígeno, en particular a los peróxidos. Este ensayo está indicado para comprobar la susceptibilidad o tendencia a la autoinflamación de sustancias orgánicas.

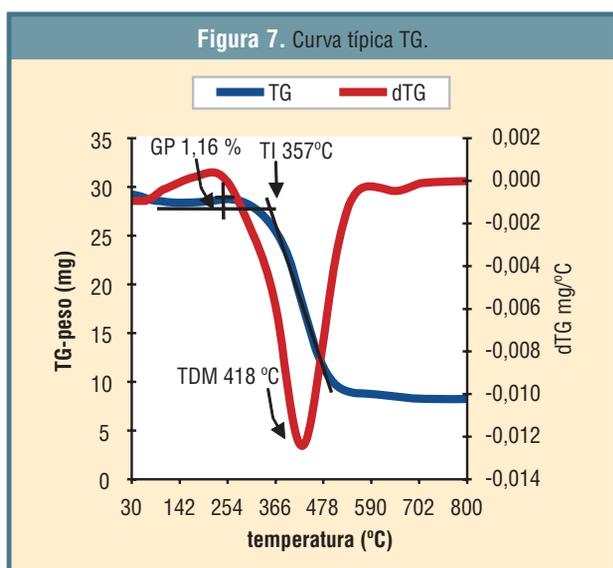
Se considera que existe riesgo de autocombustión cuando es $IM > 10$.

Temperatura de emisión de volátiles inflamables (TEV). Este ensayo es de gran utilidad para analizar la posible degradación térmica de materias orgánicas con generación de sustancias volátiles susceptibles de resultar inflamadas. El método de ensayo consiste en calentar una porción de muestra a temperaturas crecientes y aplicar una fuente de ignición compuesta por una resistencia incandescente. Si la muestra produce vapores inflamables, éstos serán más sensibles a la ignición que el producto sólido, pudiendo resultar inflamados a temperaturas reducidas (inferiores incluso a la T_{Min} , viéndose la situación agravada por el hecho de que las mezclas híbridas gas-polvo-aire son más sensibles a la inflamación que las mezclas gas-aire o polvo-aire por separado).

El Ensayo de Termogravimetría (TG) consiste en registrar la pérdida de peso experimentada por una muestra cuando ésta es sometida a un calentamiento programado.

Al analizar las numerosas variables medibles en este tipo de ensayos, se ha encontrado que los parámetros más significativos para la diferenciación de las muestras son la *temperatura de inducción a la combustión (TI)*, la *temperatura de máxima pérdida de peso (TDM)*, y el *incremento de peso al inicio del calentamiento (GP)*. La *temperatura de inicio de la reacción (onset)* muestra el punto donde comienza a acelerarse la reacción de oxidación. La temperatura a la que se produce la mayor velocidad de pérdida de peso es un indicador claro del orden de reactividad del producto, aplicado frecuentemente a combustibles sólidos; representa la evolución de las

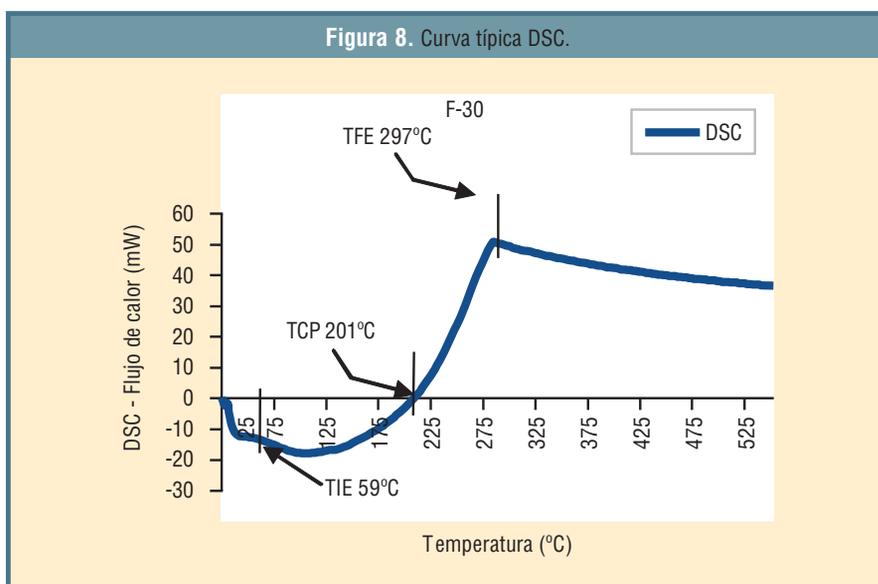




especies volátiles debida a la pirólisis; cuanto mayor es esta temperatura, menos reactivo es el producto. La ganancia de peso inicial corresponde a la adsorción de oxígeno que la muestra realiza en su primera etapa de calentamiento y oxidación.

En general, cuando se observan mayores temperaturas en las muestras, significa que las reacciones de calentamiento se producen a temperaturas más altas, es decir, que el producto es menos susceptible a la autocombustión.

En el *Ensayo de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)*, se trata de medir los intercambios de calor sufridos por la muestra de polvo, por comparación con una muestra de referencia, determinando cuantitativamente los procesos exotérmicos y endotérmicos.



Se ha comprobado que los parámetros que mejor caracterizan a distintos combustibles son la temperatura mínima de inicio de la reacción exotérmica (*temperatura inicial, TIE*), la temperatura máxima alcanzada durante la reacción exotérmica (*temperatura final, TFE*), y la temperatura a la que se inicia la reacción exotérmica rápida (*temperatura de cambio de pendiente, TCP*).

Evaluación de la susceptibilidad: Energía de activación (E_a).

Este parámetro se ha utilizado en particular para carbones de diferentes orígenes y rangos. En los distintos ensayos realizados, se muestra este valor de la E_a como una característica de los diferentes carbones, distinguiéndolos entre sí y permitiendo clasificarlos en función de este valor (ver tabla III).

RIESGO DE AUTOIGNICIÓN (Carbón)	Energía de activación aparente (kJ/mol)
Muy alto	≤ 79
Alto	80 – 89
Medio	90 – 94
Bajo	≥ 95

Riesgo de autoignición (carbones) según energía de activación.

Evaluación de la susceptibilidad: Temperatura de oxidación característica (T_{carac}). Para el estudio de la susceptibilidad a la autoignición se aplica la técnica termogravimétrica, modificando las condiciones al incorporar una corriente de oxígeno. A consecuencia de ese aporte de oxidante, el comportamiento de la muestra durante el ensayo puede ser bastante diferente, observándose en el transcurso del ensayo un escalón, o pérdida repentina de peso, asociada a una combustión rápida, que se produce a una temperatura característica para cada sustancia (figura 9). De esta manera, a partir de este valor único de la «temperatura característica», se pueden clasificar las sustancias pulverulentas de una manera sencilla (ver tabla IV).

Gráfico comparativo de los ensayos de Termogravimetría con aire (TG) y con oxígeno (TG+O₂).

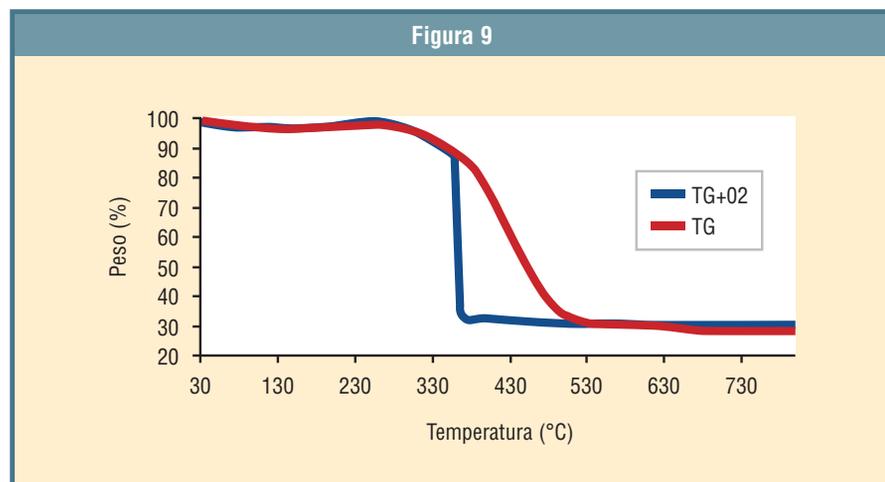


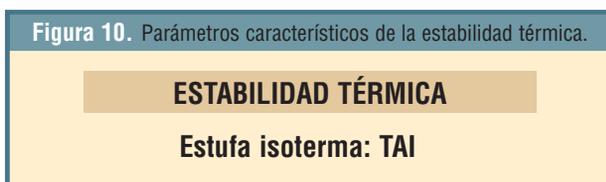
Tabla IV	
RIESGO DE AUTOIGNICIÓN (Carbón)	Temperatura característica (°C)
Muy alto	≤ 250
Alto	250 – 299
Medio	300 – 349
Bajo	≥ 350

Riesgo de autoignición según temperatura característica.

1.2.5. Estabilidad térmica

A temperatura ambiente hay una gran cantidad de sustancias capaces de adsorber oxígeno e interactuar con él produciendo una reacción de oxidación exotérmica. Cuando el calor generado en el material no se disipa adecuadamente al entorno, aumenta la temperatura, conociéndose este fenómeno como autocalentamiento.

El autocalentamiento provoca un aumento de temperatura que eleva la velocidad de oxidación del material. A su vez el aumento de temperatura puede provocar reacciones de descomposición del propio material (compuestos volátiles inflamables), e incluso llegar a provocar su inflamación. Este último proceso se denomina autoignición debido a la ausencia de una fuente de ignición exterior. El procedimiento experimental se basa en ensayos realizados en una estufa isoterma y la temperatura característica determinada se denomina *Temperatura de autoignición (TAI)*(figura 10). Al someter un producto a un ambiente a cierta temperatura se pueden observar distintos comportamientos (figura 11) y determinar así su TAI.



Existen a su vez otras fuentes de calor interno que pueden favorecer el autocalentamiento:

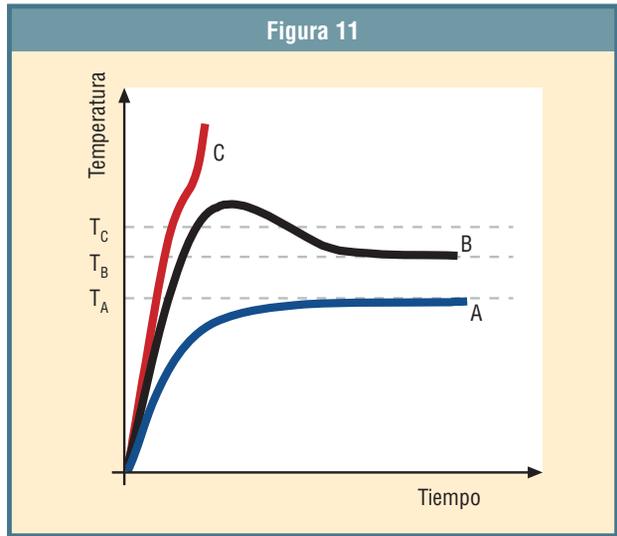
- Presencia de compuestos más oxidables que el propio material, bien sea por contaminación del producto o de forma natural (caso de la presencia de piritas en carbones).
- Fermentación bacteriana aerobia o anaerobia.
- Fijación de una sustancia gaseosa, puesto que el calor de adsorción o de condensación es elevado.

Por ejemplo, la fijación del vapor de agua de ciertos disolventes sobre carbón activo.

A partir de la TAI obtenida para distintos volúmenes de muestra se pueden determinar no sólo las dimensiones de almacenamiento que darán lugar a la autoignición (figura 12a), sino además el tiempo que tardará en producirse (figura 12b).

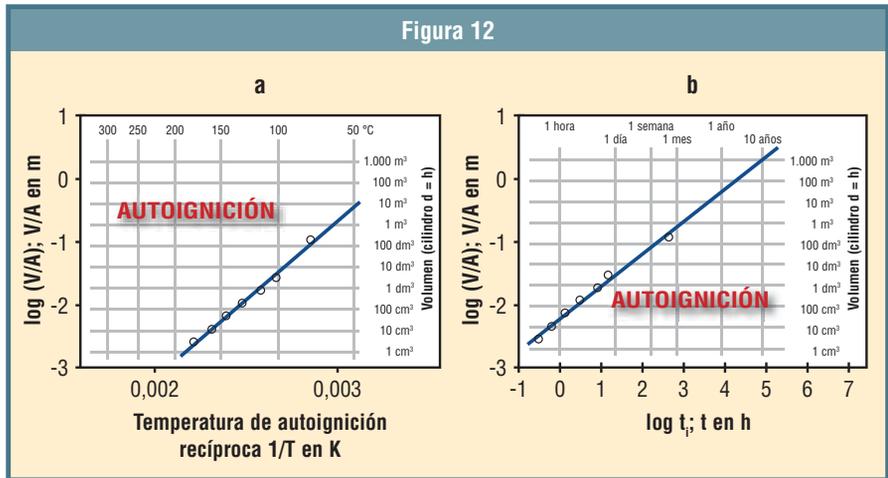


Comportamientos típicos de sólidos pulverulentos en estufa isoterma.



La figura 12.a. muestra la extrapolación de la temperatura en función de la dimensión.

La figura 12.b. muestra la extrapolación del tiempo en función de la dimensión.



1.2.6. Transporte de mercancías peligrosas

Las propiedades típicas caracterizadas para sólidos relacionadas con la reglamentación sobre transporte de mercancías peligrosas son las siguientes (figura 13):



Sustancias que entran fácilmente en combustión. La División 4.1 no debe comprender todas las materias que puedan ser inflamadas, sino únicamente las que ardan rápidamente o aquellas cuya combustión sea particularmente peligrosa, y sólo se deberán clasificar en ella las materias cuya velocidad de combustión supere un determinado valor límite.

Sólidos pirofóricos. Una materia sólida deberá clasificarse en la División 4.2 y ser considerada como pirofórica si la muestra se inflama durante la prueba. La prueba consiste en verter una muestra desde una altura de 1 m y comprobar si se inflama durante la caída o en los 5 minutos siguientes. La prueba se repite seis veces.

Sustancias que experimentan calentamiento espontáneo. Si la materia es susceptible de autocalentamiento se clasifica como División 4.2 y se le asigna un grupo de embalaje/envasado que depende de los resultados de los ensayos.

Sustancias sólidas que en contacto con el agua desprenden gases inflamables. Una sustancia que dé resultado positivo se clasifica como División 4.3.

Sustancias comburentes sólidas. Son sustancias que aportan oxígeno y favorecen la combustión de otras sustancias combustibles. Se clasifican como División 5.1.

1.2.7. Sensibilidad al choque o al frotamiento

Estos ensayos están indicados solamente para sustancias que se sospeche que puedan tener un comportamiento explosivo. Si una sustancia da resultado positivo en alguna de estas pruebas, no deben realizarse los ensayos descritos en los párrafos anteriores.

Sensibilidad al choque de los explosivos.

Sensibilidad al frotamiento o fricción de los explosivos.



2

Capítulo

Clasificación en zonas



MARC COUPIN SOLÀ



Capítulo

2

Clasificación en zonas

Según la directiva europea 1999/92/CE, transpuesta al Derecho español por el Real Decreto 681/2003, el empresario debe evaluar los riesgos de explosión y tomar las medidas adecuadas con objeto de prevenir las explosiones y de proporcionar una protección contra las mismas. En cumplimiento de dichas obligaciones, el empresario debe elaborar el documento de protección contra explosiones. Dicho documento incluye la clasificación en zonas de las áreas de riesgo, la identificación de las fuentes de ignición, los criterios de selección de los equipos así como las medidas de carácter técnico para la limitación de los efectos de las explosiones.

El documento de protección contra explosiones debe elaborarse antes de la puesta en marcha de nuevas instalaciones. Para las instalaciones ya existentes antes del 30 de junio de 2003, existe sin embargo un plazo de tres años para la elaboración de dicho documento. La fecha límite se fijó en el 30 de junio de 2006.

2.1. La clasificación en zonas

La clasificación en zonas de las áreas en las que el riesgo se debe a la presencia de polvo combustible constituye una novedad a pesar de que en la Instrucción Complementaria MIE BT 026 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, referente a las prescripciones particulares para las instalaciones de locales con riesgo de incendio o explosión, ya se distinguían dos tipos de zonas:

- Zona Z (con nubes de polvo): Es aquella en la que hay o puede haber polvo combustible, durante las operaciones normales de funcionamiento, puesta en marcha o limpieza, en cantidad suficiente para producir una atmósfera explosiva.
- Zona Y (con capas de polvo): Es aquella que no está clasificada como zona Z, pero en la cual pueden aparecer acumulaciones de capas de polvo combustible a partir de las cuales pueden producirse atmósferas explosivas.

En el Real Decreto 681/2003 se definen tres zonas para polvos:

- Zona 20: Emplazamiento en el que una atmósfera explosiva en forma de una nube de polvo combustible en el aire está presente continuamente o durante largos periodos o frecuentemente.



- Zona 21: Emplazamiento en el que una atmósfera explosiva en forma de una nube de polvo combustible en el aire es susceptible de formarse ocasionalmente en funcionamiento normal.
- Zona 22: Emplazamiento en el que una atmósfera explosiva en forma de una nube de polvo combustible en el aire no es probable que se produzca en funcionamiento normal y si se produce, es de corta duración.

El concepto de funcionamiento normal juega un papel importante en estas definiciones. Las atmósferas explosivas que se producen durante el funcionamiento normal de la planta conducen a clasificaciones en zonas 20 o 21. Por funcionamiento normal deben entenderse también las fases de arrancada y parada. Por otro lado, las atmósferas explosivas que se forman en caso de disfunciones pueden conducir a una clasificación en zona 22 si se cumple también que sean de «corta duración».



Capa de polvo excesiva sobre rodamiento.

Si se comparan las nuevas zonas con las que se definían en la Instrucción Complementaria MIE BT 026 se llega a la conclusión de que la zona 22 es equivalente a la antigua zona Y (con capas de polvo) mientras que la zona Z (con nubes de polvo) ha dado lugar a las actuales zonas 20 y 21.

De la clasificación en zonas dependerán las medidas de prevención y protección que deban adoptarse. Cuanto mayor sea la probabilidad de que se formen atmósferas explosivas mayor deberá ser la amplitud de las medidas que se tomen con el fin de evitar las fuentes de ignición efectivas. De la clasificación en zonas dependerá pues la evaluación de la conformidad del material que ya estaba a disposición de los trabajadores antes del 30 de junio de

2003 («material existente») y la selección del material que se ponga a disposición por primera vez en la fábrica después del 30 de junio de 2003 («material nuevo»).

Es conveniente optimizar la clasificación en zonas para tratar de evitar problemas futuros. Una clasificación en zonas conservadora puede dificultar notablemente la evaluación del material existente y encarecer la compra del material nuevo. Buen ejemplo de ello es la imposibilidad de algunos fabricantes de suministrar equipos conformes a las clasificaciones realizadas por algunos usuarios (o las personas en quienes delegan). Es por ello aconsejable acudir a especialistas en la protección contra explosiones para realizar la clasificación en zonas.

No sólo hay que realizar una clasificación para las áreas de trabajo sino que también debe hacerse una clasificación del interior de los equipos.

2.1.1. Clasificación de las áreas de trabajo

A menudo, gran parte de las áreas de trabajo se clasifican en zona 21, hecho que conlleva grandes problemas a la hora de evaluar la conformidad



del material existente y de adquirir material nuevo. El argumento que se da para justificar tal clasificación es la presencia de acumulaciones excesivas de polvo.

Una capa de polvo sólo conduce a una clasificación en zona 21 si por algún motivo esta capa de polvo puede ser puesta en suspensión durante el funcionamiento normal de la planta. Un ejemplo de puesta en suspensión durante el funcionamiento normal sería limpiar las áreas de trabajo con aire a presión. La utilización de aire a presión para limpiar provocaría el levantamiento de las capas de polvo acumulado generando nubes de polvo. La formación de dichas nubes de polvo tendría lugar cada vez que se llevara a cabo la limpieza, presumiblemente, en funcionamiento normal. En este caso sí estaría justificada la clasificación de las áreas de trabajo en zona 21.

Si las capas de polvo acumuladas en las áreas de trabajo sólo pueden ser puestas en suspensión como consecuencia de disfunciones, deben clasificarse las áreas de trabajo en zona 22. Una posible disfunción puede ser la rotura de un tubo de aire a presión, como los que se utilizan para accionar tajaderas por ejemplo, provocando la puesta en suspensión del polvo acumulado en las áreas de trabajo.

Otra posible disfunción sería una explosión primaria en un equipo de trabajo. La onda expansiva generada por la explosión primaria también pondría en suspensión el polvo acumulado, generando una atmósfera explosiva. La llama de la explosión primaria causaría entonces la ignición de la nube de polvo generada por la onda expansiva, causando una explosión secundaria. Además de ser un factor a tener en cuenta en la clasificación en zonas, la limpieza de las áreas de trabajo debe considerarse principalmente como una medida más para reducir los efectos de las explosiones (limpieza equivale a seguridad).

Hay que tratar de evitar las zonas 21 en las áreas de trabajo. No sólo desde un punto de vista de la protección contra las explosiones sino también desde el punto de vista de la higiene y la prevención laboral (salud del trabajador). Trabajar en emplazamientos dónde una nube de polvo es susceptible de formarse ocasionalmente en funcionamiento normal es, por motivos de higiene y de salud, desaconsejable.

Un ejemplo típico de zona 21 en las áreas de trabajo, es una tolva de vaciado de sacos que no dispone de aspiración. Cada vez que se vacía un saco en dicha tolva se genera una nube de polvo fuera de la tolva. En consecuencia hay que definir una zona 21 alrededor de la tolva (típicamente se define una zona 21 de 1 m alrededor de la tolva).

Si la tolva dispone de una aspiración, el polvo queda retenido. No hay formación de nube de polvo en circunstancias normales debido al sistema de aspiración (si está bien diseñado). Sólo si falla la aspiración puede formarse una atmósfera explosiva fuera de la tolva. En consecuencia se define una zona 22 (por si falla la aspiración) alrededor de la tolva (en este caso también 1 m alrededor de la tolva).

Ambos ejemplos se incluyen en la norma UNE-EN 50281-3 que es la norma de referencia para la clasificación en zonas para polvos.



Lo más habitual es pues tener áreas de trabajo clasificadas en zona 22, con puntualmente algunos pocos emplazamientos clasificados en zona 21.

También es posible desclasificar ciertos emplazamientos o reducir la extensión de la zona 22. Para ello deben cumplirse los criterios siguientes:

- No deben existir puntos abiertos de transferencia de polvo.
- Debe garantizarse que los equipos sean y permanezcan estancos.
- Debe garantizarse que los equipos dispongan de aspiración. La aspiración es importante para mantener una ligera depresión en el interior de los equipos. El hecho de tener una presión ligeramente inferior a la presión atmosférica permite prevenir escapes de polvo hacia las áreas de trabajo.
- Deben realizarse inspecciones y limpiezas de las áreas de trabajo.

Muchos usuarios se preguntan cuál es el nivel de limpieza que deben alcanzar para poder desclasificar las áreas de trabajo.



Desde un punto de vista práctico, resulta imposible indicar el espesor máximo de capa de polvo que no debe ser sobrepasado ya que es difícil de verificar sobre el terreno. A menudo se utiliza el valor de 1 mm como criterio y se afirma que son tolerables capas de polvo cuyo espesor sea inferior a 1 mm. Sin embargo hay que tener en cuenta que un espesor de 1 mm está muy por encima del límite tolerable. Teóricamente una capa de polvo de 1 mm de espesor puede formar una nube de 5 m de altura con una concentración de polvo en el aire de 100 g/m^3 (tomando una densidad para el polvo de 500 kg/m^3). La concentración de polvo en aire resultante



está en pleno rango de explosividad (el rango de explosividad para la mayoría de las sustancias oscila habitualmente entre un límite inferior de explosividad de 30 g/m^3 y un límite superior de explosividad de 5 kg/m^3).

Resulta pues más conveniente utilizar los siguientes criterios de limpieza:

- Las superficies de los equipos deben estar visibles (el color y la estructura de todas las superficies deben estar reconocibles). Cuando las superficies de los aparatos se encuentren cubiertas de una fina capa de polvo, debe ordenarse una limpieza.
- Al andar, no hay que dejar huellas sobre el suelo.
- Hay que limpiar inmediatamente todas las capas de polvo formadas como consecuencia de escapes provocados por disfunciones. Cuando se produzca un escape de polvo como consecuencia de algún incidente deben adoptarse medidas adicionales para eliminar los depósitos de polvo lo antes posible.



No hay protocolos de limpieza.

Si se cumplen pues todos estos requisitos puede evitarse una clasificación de las áreas de trabajo en zona 22 o puede reducirse notablemente la extensión de la zona 22.

Hay que tener en cuenta que muchas empresas del sector farmacéutico o del sector alimentario ya cumplen estos criterios por motivos de higiene. Para estas empresas estos criterios no constituyen ninguna novedad lo que permitirá desclasificar gran parte de las áreas de trabajo.

En algunos casos puede resultar inviable cumplir con estos criterios. La experiencia demuestra que muchas fábricas antiguas del sector alimentario por ejemplo tienen enormes dificultades para mantener una buena limpieza de las áreas de trabajo. En algunos casos las áreas de trabajo se vuelven a cubrir de una fina capa de polvo al poco rato de haber limpiado. En estos casos es mejor optar por una clasificación en zona 22 lo que permitirá reducir notablemente el esfuerzo de limpieza. Una clasificación en zona 22 cubre la presencia de capas de polvo en las áreas de trabajo y también la posibilidad de que haya escapes.

Aunque la zona 22 cubra la presencia de capas de polvo, el espesor de las capas de polvo debe mantenerse siempre por debajo de 5 mm. De lo contrario son necesarias medidas más estrictas en cuanto a la preven-



ción de las fuentes de ignición, concretamente en cuanto a la temperatura máxima de superficie de los aparatos.

Como solución de compromiso existe también la posibilidad de definir una zona 22 únicamente alrededor de los equipos que manipulen polvo (típicamente 1 m alrededor de los equipos). El resto puede desclasificarse si se cumplen los requisitos citados anteriormente. Dicha solución ofrece las siguientes ventajas:

- Mayor flexibilidad, ya que se permiten pequeñas acumulaciones de polvo alrededor de los equipos y en caso de fugas no deben tomarse medidas de urgencia. También pueden abrirse las máquinas para inspección sin necesidad de detener el proceso por miedo a que se produzcan escapes de polvo.
- En las áreas desclasificadas puede instalarse material que no esté certificado, lo que le proporciona al usuario un cierto margen de maniobra. Pueden utilizarse por ejemplo tomas de corriente no certificadas.

En general, las instalaciones situadas «al aire libre» no deben ser clasificadas, ya que debido a las condiciones climáticas (movimiento natural del aire, lluvia, humedad), no pueden formarse capas de polvo duraderas.

Algunos polvos manipulados, por ejemplo en la industria química, son higroscópicos y por lo tanto absorben la humedad presente en el ambiente. Al absorber la humedad, dichos productos pierden el carácter pulverulento y por lo tanto ya no pueden ser puestos en suspensión para formar nubes de polvo en el aire. Para áreas de trabajo que puedan contener acumula-



Zona desclasificada por escrupulosa limpieza (gentileza Harinera Vilafranguina).



ciones de este tipo de productos no será, en regla general, necesaria una clasificación en zonas.

2.1.2. Clasificación del interior de los equipos

Para la clasificación del interior de los equipos deben tomarse en consideración los siguientes aspectos:

En algunos equipos la concentración en polvo estará por encima del límite superior de explosividad (LSE). Es el caso de algunos transportes neumáticos densos. Si se transportan 40 toneladas por hora de polvo con 40 m³ por minuto de aire se obtiene una concentración media en la tubería de transporte de 16,7 kg/m³. Dicha concentración está muy por encima del LSE que se sitúa entorno a los 5 kg/m³ para la mayoría de los polvos. Únicamente en las fases de arrancada y de parada se producirá una entrada ocasional en el rango de explosividad. Una clasificación en zona 21 es pues posible para las tuberías del transporte neumático (entrada ocasional en el rango de explosividad durante el funcionamiento normal).

Otros ejemplos típicos en los que se sobrepasa el LSE son determinados molinos, tamices o mezcladoras. Durante el proceso, el polvo se reparte de forma homogénea en el interior de dichos equipos alcanzando concentraciones superiores a los 10 kg/m³. Únicamente en las fases de arrancada y de parada se produce una entrada ocasional en el rango de explosividad. El interior de estos equipos puede por lo tanto clasificarse en zona 21.

Existe sin embargo el peligro de que se considere como poco crítico el equipo debido a esta clasificación «suavizada» (zona 21 en lugar de zona 20) y que por lo tanto se reduzcan las medidas de protección. A menudo tras los molinos se sitúa una tolva de recepción. Mientras que en el molino la concentración es demasiado elevada (teóricamente zona 21), en el interior de la tolva la concentración se encuentra dentro del rango de explosividad (zona 20). Debido a que la tolva de recepción está directamente conectada con el molino y a pesar de que el molino se encuentre clasificado en zona 21, deberán cumplirse para el molino los requisitos de un aparato para zona 20 en lo que se refiere a la prevención de las fuentes de ignición (en este caso principalmente habrá que considerar las chispas de origen mecánico generadas por fricción).

El interior de los filtros de mangas se clasifica en función de los intervalos de limpieza de las mangas. Si los intervalos de limpieza son muy frecuentes habrá que optar por una clasificación en zona 20. Si la limpieza de las mangas sólo se produce de forma ocasional podrá optarse por una clasificación en zona 21. De todas formas esta diferencia en la clasificación no tiene consecuencias prácticas. El hecho de que haya una zona 20 o una zona 21 no cambia el diseño del interior de los filtros (es más una cuestión de interpretación que otra cosa). En lo único en que podría haber una diferencia es en los instrumentos de medida (indicadores de nivel por ejemplo). De todas formas en el mercado únicamente se encuentran indicadores para zona 20, así que no hay mayor problema. Así que desde un punto de vista práctico da lo mismo que haya zona 20 o zona 21.



También en el interior de los equipos pueden existir zonas 22. Un ejemplo típico es el lado limpio de los filtros de mangas. El lado limpio puede contener una atmósfera explosiva polvo/aire si fallan los elementos filtrantes (mangas). Es importante insistir en el concepto de fallo. Únicamente habrá atmósfera explosiva polvo/aire en caso de fallo (durante el funcionamiento normal no habrá) y esta es la razón por la cual se ha optado por una clasificación en zona 22. Esta clasificación afectará al ventilador que usualmente se instala en el lado limpio de los filtros. El elemento mecánico del ventilador deberá cumplir los requisitos de un aparato para zona 22. Los requisitos para el motor del ventilador vendrán definidos por la clasificación en zonas que se haya efectuado en las áreas de trabajo.

También hay que tener en cuenta el tipo de producto que se manipula. La clasificación del interior de un silo no va a ser la misma si se almacena harina o trigo, por ejemplo. Cuanto mayor sea el tamaño de grano, más difícil será formar atmósferas explosivas.

Los silos que almacenan harina irán clasificados en zona 20, ya que durante el llenado de los silos se genera una atmósfera explosiva polvo/aire, si el llenado se produce de forma frecuente lo que es de suponer. Para el caso de los silos que sólo se llenan de forma ocasional durante el funcionamiento normal de la planta puede optarse por una clasificación en zona 21. Los silos que almacenan trigo irán por su parte clasificados en zona 21 o incluso en zona 22 en función de la cantidad de «finos» presentes en el trigo.

También hay que resaltar que la humedad puede jugar un papel importante en la clasificación en zonas. Cuanto mayor sea la humedad de las sustancias, más difícil será ponerlas en suspensión para formar atmósferas explosivas.

Por último no hay que olvidar que el comportamiento de los polvos es muy diferente al de los gases y vapores. A menudo pueden verse clasificaciones en zonas que siguen el esquema de las clasificaciones que habitualmente se realizan para gases y vapores: zona 20 en el interior de los equipos, rodeada de una zona 21 que a su vez se encuentra rodeada de una zona 22.

Se trata de la típica clasificación que se hace para gases y vapores. Aplicar este esquema de clasificación a los polvos es desde un punto de vista conceptual totalmente erróneo.

Los gases y vapores que se desprenden de una fuente continua de escape se dispersan en la atmósfera formando una nube que se caracteriza por un determinado gradiente de concentración.

El polvo que se escapa al exterior de un equipo debido a una fuga se deposita simplemente en el suelo formando una capa de polvo. La formación



Nube de polvo de azúcar en galería interior.



de una atmósfera explosiva sólo es posible si la capa de polvo formada es puesta en suspensión, lo que habitualmente sólo ocurre si se produce una disfunción. Por consiguiente una zona 20 está habitualmente rodeada de una zona 22 y no de una zona 21.

Algunos tienen en cuenta la ventilación a la hora de efectuar la clasificación en zonas, de áreas en los que el riesgo se debe a la presencia de polvo combustible. La ventilación juega un papel importante en la clasificación en zonas para gases y vapores, pero no en el caso de los polvos. Contrariamente a lo que sucede en el caso de los gases y vapores, la ventilación incluso puede resultar contraproducente, ya que ésta puede provocar la puesta en suspensión del polvo acumulado en las áreas de trabajo, aumentando el riesgo de explosión.

2.2. Resumen

La clasificación en zonas de las áreas de riesgo es uno de los aspectos que debe incluir el documento de protección contra explosiones. Para realizar la clasificación en zonas es clave una correcta interpretación de las definiciones de las zonas. También es importante realizar una clasificación en zonas que se ajuste lo más posible a la realidad. Clasificaciones en zonas conservadoras (con la idea de curarse en salud) pueden conllevar grandes problemas a la hora de evaluar la adecuación del material existente y a la hora de comprar material nuevo.



Espesor excesivo de capas de polvo sobre motor.



La limpieza, juega un papel muy importante a la hora de realizar la clasificación en zonas de las áreas de trabajo; en cierto modo, el mismo papel que la ventilación en el caso de gases y vapores, ya que permite reducir la probabilidad de formación de atmósferas explosivas. Mediante medidas de limpieza, el usuario puede reducir notablemente la extensión de las áreas clasificadas. El usuario puede optimizar mediante medidas de limpieza su clasificación en zonas para poder trabajar con mayor flexibilidad y poder reducir los costes asociados a la compra de material nuevo.

Para la clasificación en zonas del interior de los equipos resultan importantes, conceptos como las características de los equipos considerados, las características del proceso, así como la granulometría y la humedad de los productos manipulados. A menudo las diferencias en la clasificación en zonas de determinados equipos no tienen consecuencias prácticas. Para otros equipos puede, sin embargo, resultar de mucha importancia hacer una clasificación lo más acurada posible para simplificar el análisis posterior de la conformidad del equipo a las exigencias del Real Decreto 681/2003.

Tampoco hay que olvidar que los polvos y los gases/vapores tienen comportamientos muy distintos. Hay que huir por lo tanto de los paralelismos a la hora de efectuar la clasificación en zonas.



3

Capítulo

La prevención de incendios y de explosiones



XAVIER DE GEA RODRÍGUEZ



Capítulo

3

La prevención de incendios y de explosiones

La prevención de incendios y de explosiones consiste en todas aquellas actuaciones destinadas a evitar la formación de atmósferas explosivas o a eliminar las fuentes de ignición. La totalidad de posibles fuentes de ignición aparece en la prEN 15198 y UNE-EN 1127-1 1997.

Ésta más que una técnica, es una actitud de la empresa. La prevención será más o menos eficiente, en función de la cultura de seguridad de la misma, ya que la prevención siempre es «activa», es decir, requiere de un mantenimiento continuo y de una actitud «proactiva» por parte de los trabajadores, de ahí que empresas que han sido diseñadas correctamente pueden llegar a tener accidentes graves.

Es importante hacer reflexionar sobre este hecho: **«no debemos ni abusar, ni quedarnos cortos en las medidas preventivas»**, es decir el exceso de medidas puede llevar a que se dejen de aplicar, por ejemplo, mantenimientos preventivos con demasiada frecuencia, chequeos diarios en lugar de semanales, limpieza por turno en lugar de semanal, etc..., ya que, quizás, se ha tomado una medida por un incidente puntual, que con el tiempo se olvida y hace que los operarios dejen de realizarlas. Pero sobre todo debemos predicar con el ejemplo, no vamos a transmitir nada si no creemos firmemente en ello, ya que **«la prevención es cosa de todos»**.

3.1. Técnicas de prevención

3.1.1. Técnicas organizativas

La principal técnica de prevención es la organizativa. No debe permitirse la realización de trabajos específicos de riesgos sin el correspondiente permiso de trabajo, y aún menos si estos se van a realizar en una zona clasificada como ATEX. Por lo anterior es necesario que se cumplan unos requisitos mínimos de seguridad, que se implanten los permisos para trabajos de:

- Trabajos en caliente: Corte y soldadura.
- Uso de aire comprimido.
- Permiso para trabajos en altura.
- Permiso para trabajo en espacios confinados.



Por ejemplo, nadie permitiría unos fuegos artificiales en sus instalaciones:



Pero sí permitimos trabajos de soldadura sin permiso:



A pesar de que desde el punto de vista de fuente de ignición es similar.

3.1.2. El control de la electricidad estática

Es importante considerar la generación de electricidad estática durante los procesos de trasiego de gases con partículas y sólidos, pudiendo ello, causar la ignición de la mezcla explosiva. Para gases o vapores las energías mínimas de ignición son de microjoules (μJ), mientras que para sólidos es de milijoules (de 1 a 1.000 mJ).

Para el control de la electricidad estática es sumamente importante el empleo de materiales antiestáticos y, sobre todo, el disponer de una adecuada y eficaz puesta a tierra, así como efectuar comprobaciones de la misma que se deben realizar de manera periódica por un especialista en esta materia.

3.1.3. Extinción de chispas

Las chispas son generadas normalmente por efecto mecánico, en el transporte neumático, o en los transportadores mecánicos, horizontales



o elevadores. También, pueden ser generados en los intercambiadores térmicos (secadores...)

Los sistemas de extinción de chispas siempre se emplearán en conducciones.

Esta técnica consiste en la detección de partículas incandescentes mediante infrarrojos, colocando unas boquillas extintoras aguas abajo de los detectores, a una distancia que dependerá de la velocidad del flujo.

En función del material se pueden utilizar distintos agentes extintores, si bien el agua es el más empleado.

Si las conducciones son de diámetros elevados se emplearan dos boquillas consecutivas o enfrentadas.



Detección de chispas.

3.1.4. Detección de CO (Monóxido de Carbono)

La detección de Monóxido de Carbono (CO) es el sistema más rápido de identificar el inicio de un incendio, ya que cuando se produce un fenómeno de combustión lenta, como la autocombustión por oxidación, se produce una emisión inicial de CO. La lectura del mismo se debe hacer por diferencia de concentración del CO entre la entrada al proceso y la salida del mismo. Por ejemplo esta técnica es muy utilizada para la detección en grandes cuadros eléctricos, o en procesos de secado por atomización, como en la producción de leche en polvo.

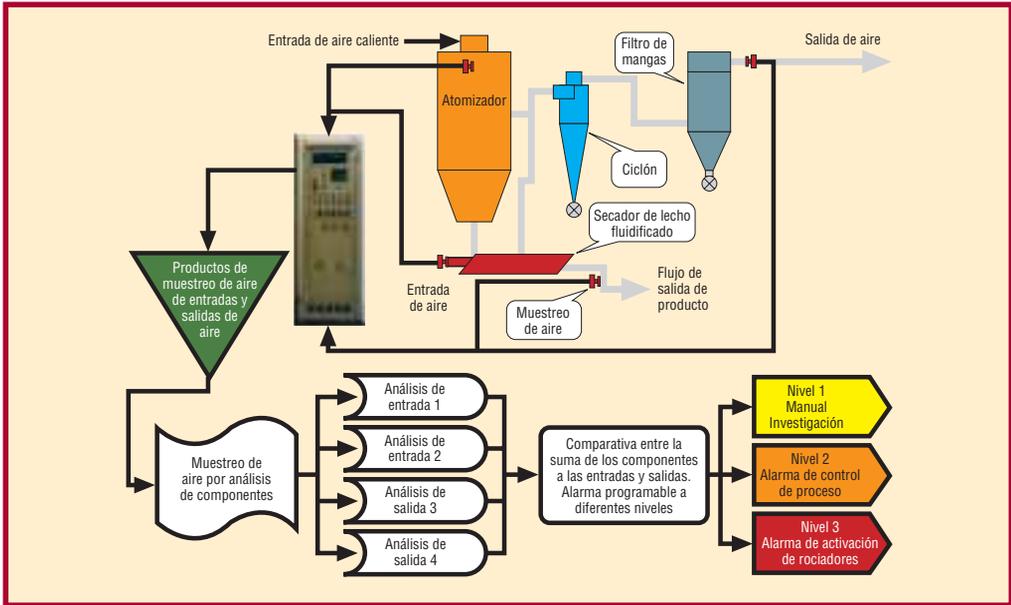
Este sistema permite la detección precoz de un incendio, que a su vez podría causar una explosión. Un sistema bien diseñado dispone de tres niveles de alarma, el primero avisa de que se está generando CO, ello permite la actuación del personal. Si la concentración de CO sigue aumentando se activa el segundo nivel, que determina la parada del proceso y si la concentración de CO sigue aumentando activa el sistema de extinción automático.

En cualquiera de los casos, si nuestro proceso puede producir fenómenos de autocombustión, la solución es muy rentable ya que se amortiza al primer incidente.



Proceso de autocombustión en un atomizador de leche.





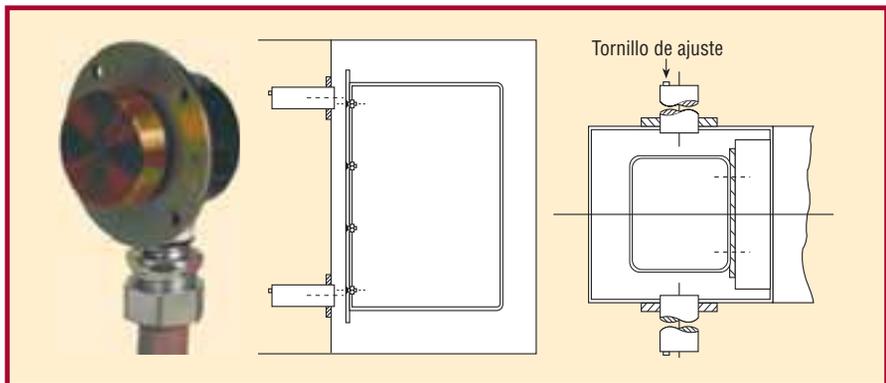
3.1.5. Medición de la vibración

Cuando en una máquina se encuentran elementos que giran a muchas revoluciones por minuto, es crucial supervisar que este movimiento se produzca de forma equilibrada, y evite chispas que puedan provocar explosiones. El desequilibrio en los órganos de giro viene precedido de un aumento de la vibración, de forma que si la medimos, podremos anticiparnos a la rotura por desgaste de componentes, como rodamiento, ejes o correas de transmisión.

Otra medida preventiva a considerar puede ser la disminución del número de revoluciones de la máquina.

3.1.6. Medidores de alineamiento

Los medidores de alineamiento son muy utilizados en los elevadores de cangilones, sobre todo en aquellos de gran altura. Su funcionamiento se basa en disponer de una lectura constante del metal, del propio cangilón. Cuando el cangilón es de un material plástico la detección se realiza sobre los tornillos de sujeción del mismo a la banda.



Medidor de alineamiento.



3.1.7. Sensores de atasco o continuidad

Es una técnica muy recomendable para aquellos procesos que mueven gran cantidad de producto, ya que un atasco puede ser la causa de calentamiento por fricción y provocar un incendio y posteriormente una explosión.



Sensor de atasco.

Su utilización en el proceso de llenado de silos permite controlar si el producto sigue circulando por la conducción y si esto deja de ocurrir, detectarlo y poder identificar la anomalía.

3.1.8. Sensores de temperatura

El control de la temperatura es una técnica preventiva muy eficaz, sobre todo en aquellos procesos con movimientos a gran velocidad, como es el caso de los rodamientos.

Su empleo es habitual para la medición de la temperatura de aceites de lubricación o de líquidos refrigerantes.

3.1.9. Extracción de cuerpos extraños

Las técnicas de extracción de objetos extraños de las propias sustancias, se deben hacer por determinación de las diferentes características de las mismas, centrándonos, en las propiedades físico-químicas de las materias a procesar.

Las propiedades físicas más utilizadas son las de peso o densidad, tamaño y volumen, y ferromagnéticas.



Parrilla magnética por gentileza de IMA, S. L.





Sensor de temperatura en rodamientos.

A continuación describimos las técnicas más usuales:

Centrifugado y decantación:

Mediante técnicas de centrifugado conseguimos la separación de los cuerpos menos pesados y por decantado separamos los más pesados.

Cribado:

Mediante técnicas de cribado conseguimos la separación de los cuerpos de tamaño o volumen distinto a la sustancia. Si estamos procesando por ejemplo un cereal, éste tiene un tamaño determinado y por tanto los objetos de mayor o menor tamaño, (piedras, ramas, arena, etc...), no tan sólo afectan a la calidad del producto final, sino también a la seguridad, ya que pueden provocar erosión, atascos o incluso chispas.

Imanes:

Mediante técnicas de imantación conseguimos la separación de objetos ferromagnéticos de la sustancia (hierro).

3.1.10. Medidores de velocidad

Los procesos industriales se desarrollan a velocidad controlada, por ello si la máquina no gira o se acelera denotan anomalías en el sistema. Su control es simple, pues se trata de medir la frecuencia de paso mediante un componente magnético.



Medidores de velocidad de giro.



4 Capítulo

Técnicas de protección



XAVIER DE GEA RODRÍGUEZ



Capítulo

4

Técnicas de protección

Existen dos conceptos de protección:

1. PASIVO. Basado en el control de las consecuencias de una explosión, situándola a un nivel de riesgo aceptable para las personas y las instalaciones, mediante el control del incremento de la presión y el direccionamiento de las llamas.
2. ACTIVO. Basado en minimizar las consecuencias de una explosión, no permitiendo su propagación en el sistema. Para ello son necesarios sistemas de detección suficientemente rápidos y fiables, sistemas de control y equipos de actuación combinados, que supriman la explosión.

Existen tres técnicas básicas de protección:

1. Recipientes resistentes a la explosión.
2. Venteo de explosiones.
3. Supresión de explosiones.

4.1. Recipientes resistentes a la explosión

Esta técnica consiste en el diseño de recipientes que soportan la presión máxima de la explosión (P_{max}).

Es una técnica de protección pasiva, que se limita a recipientes de escaso volumen, (de unos pocos metros cúbicos), salvo alguna excepción, ya que es sumamente costoso conseguir recipientes de gran volumen que resistan 10 ó 12 bar.

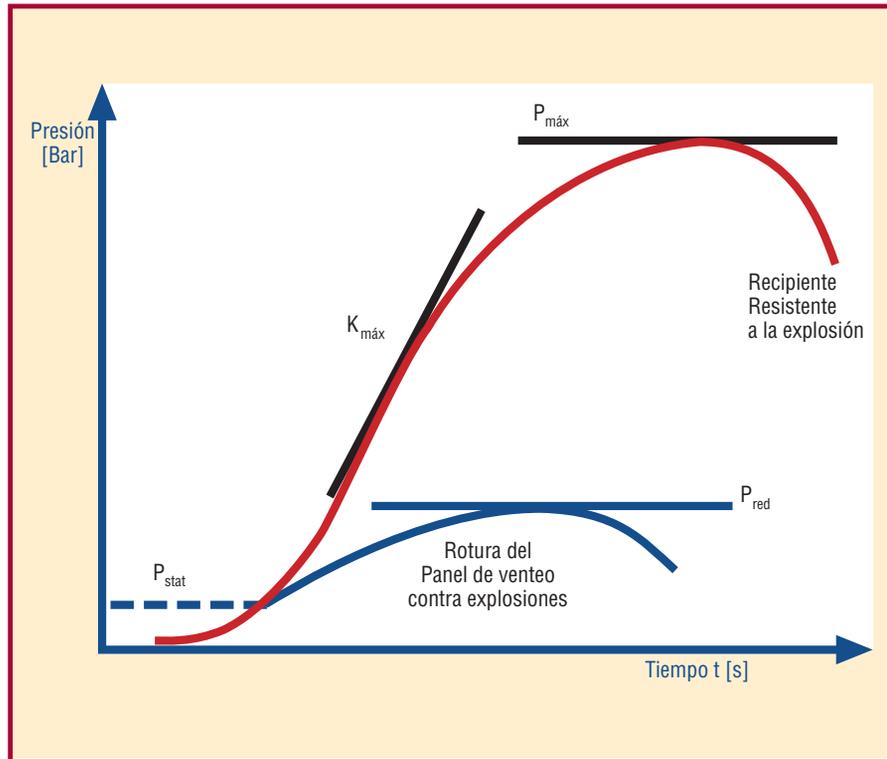
Desde el punto de vista económico hay que considerar que es una técnica muy cara, no obstante es la idónea para aquellos procesos de poco volumen, por ejemplo reactores, molinos de pigmentos, etc...

En procesos de trabajo continuo, (molinos, etc.) esta técnica se debe combinar con aislamiento de explosiones (válvulas de aislamiento de explosiones).

4.2. Venteo de explosiones

Es la técnica pasiva por excelencia, consiste en el empleo de unos paneles de venteo contra explosiones dimensionados de tal manera que el recipiente no supere, en caso de explosión, la presión reducida de la explosión (P_{red}).





Para el dimensionado se emplea la norma de cálculo UNE-EN 14491, la cual viene a reemplazar a la VDI 3673 utilizada hasta la fecha:

Siguiendo esta norma, el área es:

- SI $P_{red, máx}$ entre 0,1 bar y hasta 1,5 bar

$$A = B(1 + C \times \log L/D) \text{ en m}^2$$

con

$$B = (3,264 \times 10^{-5} \times p_{m\acute{a}x} \times K_{St} \times p_{red,m\acute{a}x}^{-0,569} + 0,27 \times (p_{stat} - 0,1) \times p_{red,m\acute{a}x}^{-0,5}) \times V^{0,753}$$

$$C = (-4,305 \times \log p_{red,m\acute{a}x} + 0,758)$$

$$A_v = A/E_f \text{ (} E_f \text{ eficiencia de venteo)}$$

- SI $P_{red, máx}$ entre 1,5 bar y hasta 2,0 bar

$$A = B$$

$$A_v = A/E_f \text{ (} E_f \text{ eficiencia de venteo)}$$

Ecuaciones válidas para:

V de 0,1 m³ hasta 10.000 m³

P_{stat} de 0,1 a 1 bar si P_{stat} es inferior a 0,1 se calcula con 0,1

P_{red} hasta 2 bar

$P_{m\acute{a}x}$ entre 5 y 12 bar

$K_{m\acute{a}x}$ de 10 a 800 bar m s⁻¹



Para recipientes con L/D inferior a 20.

En el venteo de edificios:

$P_{red, máx}$ es la máxima presión alcanzada durante la deflagración venteadada, la cual no excederá los **0,2 bar**

$$A = C \times A_s \times P_{red, máx}^{-0.5}$$

A [m²] es el área de venteo

C [bar m s⁻¹] es una constante que depende de la $K_{máx}$:

C bar	$K_{máx}$
0,016	Entre 0 y 100
0,026	Entre 100 y 200
0,030	Entre 200 y 300

A_s [m²] es la superficie interna del recipiente.

4.2.1. Venteo a través de conducto

Se calcula mediante la Norma UNE-EN 14491, donde:

$$\frac{P^l_{red, máx}}{P_{red, máx}} = 1 + 17,3 \left[\frac{A}{V^{0,753}} \right]^{1,6} l/d$$

$P^l_{red, máx}$ es la presión máxima con conducto

$P_{red, máx}$ es la presión máxima sin conducto

A es el área de venteo

V es el volumen

l es la longitud del conducto

d es el diámetro del conducto

Las limitaciones de aplicación son:

V de 0,1 m³ hasta 10.000 m³

P_{stat} de 0,1 a 1 Barg. No válido para $P_{stat} > 1$ bar

P_{red} hasta 2 Barg y siempre $P_{red} > P_{stat}$

$P_{máx}$ entre 5 y 12 Barg

$K_{máx}$ de 10 a 800 Bar m s⁻¹

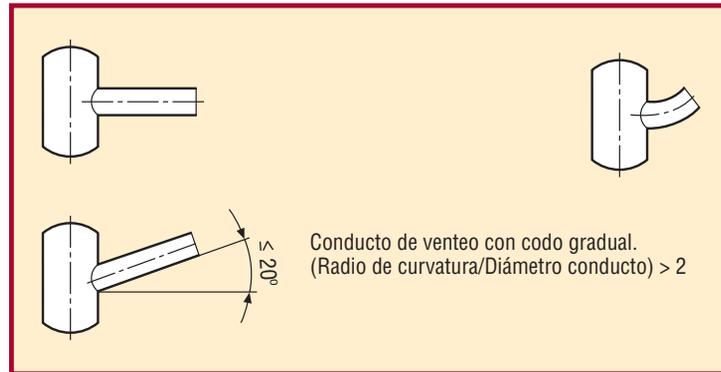
Para recipientes con L/D inferior a 20.

Los efectos del empleo de conductos serán tanto más pronunciados para mayores ratios:

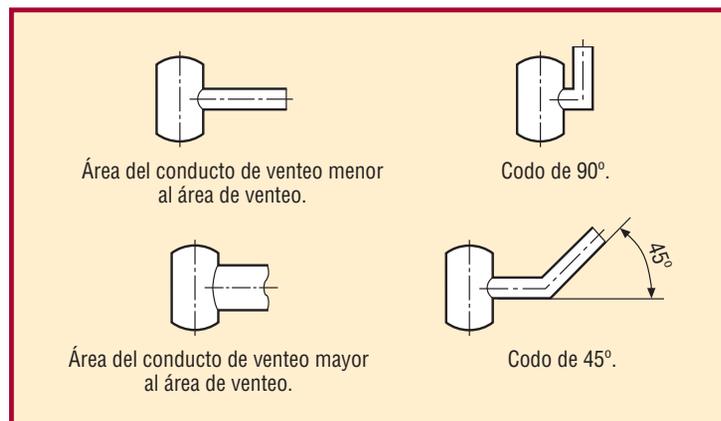
$$(l/d)_s = 4,564 \times P_{red, máx}^{-0,37}$$



Estas son las configuraciones permitidas si se utiliza la anterior ecuación.



No obstante, las siguientes configuraciones no es que no estén permitidas, sino que no es válido el cálculo realizado. Se debería realizar, en estos casos, el ensayo experimental y verificar su correcto funcionamiento.



4.2.2. Localización de los venteos

El venteo debe realizarse teniendo en cuenta:

- Las fuerzas de reacción.
- La salida libre del venteo.
- La distancia de seguridad en relación al alcance de las llamas y de la onda de presión.
- El reparto del área de venteo.
- La eficiencia del dispositivo de venteo.

Situación del venteo:

La situación del venteo va a condicionar su dimensionado, ya que nos afectará al L/D (relación longitud / diámetro equivalente)

De ahí que se recomiende la distribución simétrica de los venteos, siempre que sea posible, por ejemplo en conducciones, o en recipientes alargados.



4.2.3. Tipo de dispersión del polvo

La dispersión que se produzca del polvo va a condicionar el área de venteo.

Se consideran tres tipos:

- Dispersión estándar (mezcla homogénea de polvo y aire en todo el volumen).
- Llenado por gravedad.
- Llenado por transporte neumático.

Para las dos últimas, es importante conocer los datos de llenado: diámetro de la tubería, velocidades y caudales. Estos datos pueden afectar considerablemente al dimensionado del venteo ya que la dispersión condiciona la evolución de la explosión.

4.2.4. Venteo a una zona segura

Este aspecto es muy importante, ya que en la dirección del venteo saldrán llamaradas, ondas de presión e incluso partículas proyectadas. Por ello es fundamental que:

- No se ventee a zonas de paso.
- En la zona de venteo no se encuentren sustancias combustibles, sobre todo polvo, ya que ello podría originar una deflagración secundaria e incluso un incendio.
- En la dirección del venteo no haya obstáculos que puedan provocar una pérdida de eficiencia o rebotes indeseados

4.2.4.1. Distancia de seguridad

Son considerables las distancias a las cuales llegan los efectos del venteo de llamas y presión.

- En cuanto a las llamas, la distancia mínima de seguridad puede calcularse:

$$L_F = 10 V^{1/3}$$

L_F es la distancia de las llamas en m, no se espera más de 60 m

V es el volumen venteado en m^3

- El ancho de la llama se puede calcular:

$W_F \approx 1,3 (10V)^{1/3}$, donde W_F es el ancho de la llama en m. V es el volumen del recipiente en m^3

- En relación a la onda de presión:

$$P_{ext} = 0,2 P_{red,m\acute{a}x} \times A^{0,1} \times V^{0,18}$$

P_{ext} es la presión máxima externa en bar

$P_{red,m\acute{a}x}$ es la presión máxima reducida de la explosión en bar

A es el área geométrica del venteo en m^2

V es el volumen venteado en m^3

Esta presión máxima se dará a una distancia de:

$$R_S = 0,25 L_F$$



Por ejemplo un recipiente de 5 m³ con 0,5 m² de venteo y una P_{red} de 1 bar dará las siguientes distancias de seguridad:

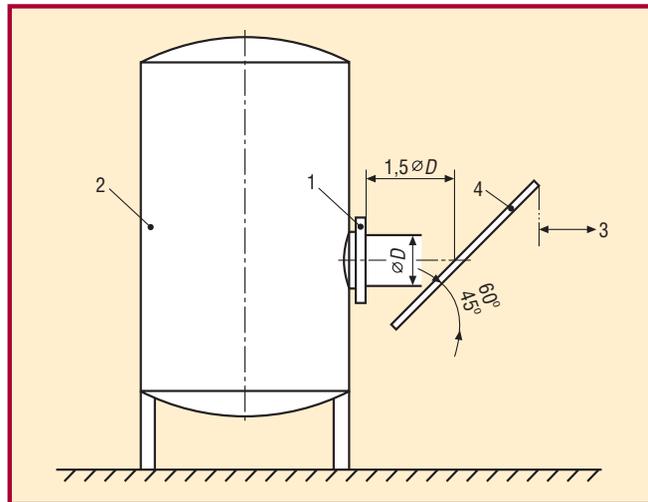
$$L_F = 17,10 \text{ m}$$

$$P_{\text{ext}} = 0,249 \text{ bar} = 249 \text{ mbar}$$

$$R_S = 4,28 \text{ m}$$

$$W_F = 4,79 \text{ m}$$

Para minimizar estas distancias de seguridad se pueden emplear deflectores, según la siguiente ilustración:



En cuanto a la instalación de deflectores hay que considerar:

- La distancia entre el panel de venteo y el deflector debe ser 1,5 veces el diámetro equivalente del venteo.
- El panel deflector debe tener un área mínima de 3 veces el área de venteo.
- Debe instalarse con una inclinación de 45 a 60°.
- Además debe ser suficientemente robusto y resistir la presión reducida de la explosión por el área de venteo.
- Su uso queda limitado a un volumen máximo del recipiente a ventear de 20 m³.

Otra manera de reducir las distancias de seguridad es el **venteo sin llamas**. Las técnicas habituales son el empleo de apagallamas. Si bien la zona de seguridad se reduce drásticamente, ya que llamas y partículas quedan retenidas, hay que considerar el incremento de presión y la energía de radiación.

Siendo esta técnica limitada para volúmenes pequeños. Es muy importante verificar este dato con el fabricante del dispositivo del venteo sin llamas.

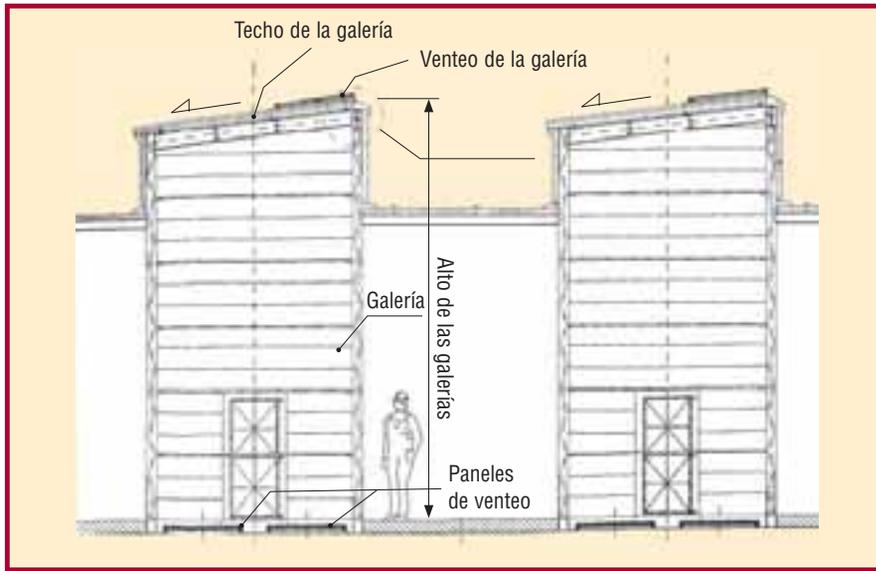
4.2.4.2. Galerías de venteo

Otra posibilidad es la de ventear hacia una zona delimitada a tal efecto, como una galería de explosión.



Para ello se debe tener en cuenta que:

- El volumen de la galería debe ser considerablemente mayor que el del equipo venteado.
- La galería debe permanecer limpia de combustibles.
- No pueda existir personal en la misma.
- Se alivie la presión rápidamente y a una zona segura.



4.3. Supresión de explosiones

Para la utilización de esta técnica, hay que considerar tres componentes:

- El detector.
- La unidad de control.
- El supresor.

4.3.1. Detector

La detección puede realizarse por presión, mediante un transductor de presión o bien un indicador de ruptura, o mediante detección óptica de infrarrojos (IR) o ultravioleta (UV).

Una condición que deben cumplir los detectores es que deben ser sumamente rápidos y por ello no se utilizan detectores de temperatura, ni tampoco de gases.

4.3.2. Unidad de control

Es el cuadro de maniobra que lee las señales del detector o de los detectores, las interpreta a gran velocidad, activa el sistema de supresión, a la vez que para el proceso y da señal de alarma acústica y visual.



Supresor de explosión
(por gentileza de Riera Nadeu).



4.3.3. Supresor

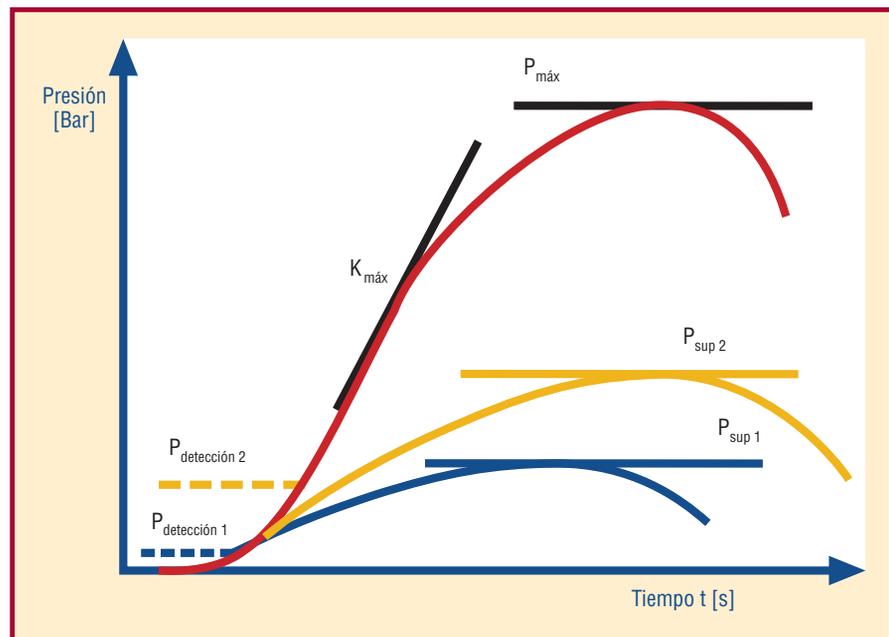
Consiste en un recipiente a presión que contiene un agente extintor, el cual debe inundar la zona a proteger con la suficiente rapidez, como para frenar el avance de la deflagración.

La supresión de la deflagración se basa en dos aspectos:

- El enfriamiento e inertización, por la evaporación en el caso de utilizar agua micronizada.
- La inertización, ya sea por el efecto de las partículas de bicarbonato sódico, absorbiendo los radicales libres de la combustión o por desplazamiento del oxígeno, reduciendo la concentración del mismo.

Pero lo fundamental es el tiempo de descarga, que debe ser suficientemente rápido como para controlar la deflagración en su estado incipiente. Este tiempo oscila desde los 7 ms de la activación a los 200ms del vaciado completo del contenedor. Mientras la detección requiere entre 4 y 5 milisegundos, desde el punto de calibrado.

La presión de detección oscila en función de la $K_{m\acute{a}x}$. (se acostumbra a tarar entre 35 y 200 mbar),



Como se observa en el gráfico anterior a una $K_{m\acute{a}x}$ constante, a mayor presión de detección le corresponde una mayor presión de supresión, que viene dada por la presión de combustión y la del propelente que se descarga en el recipiente.



5 Capítulo



La prevención y protección de explosiones en filtros de mangas

XAVIER DE GEA RODRÍGUEZ
XAVIER MARTINO BOFARULL



Capítulo

5 La prevención y protección de explosiones en filtros de mangas

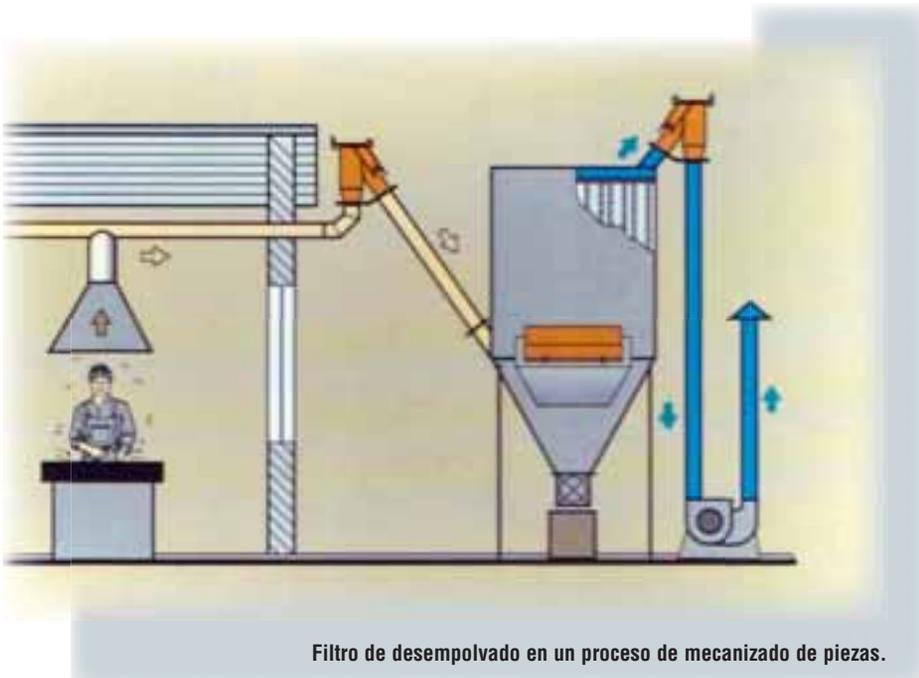
5.1. Filtros de Mangas

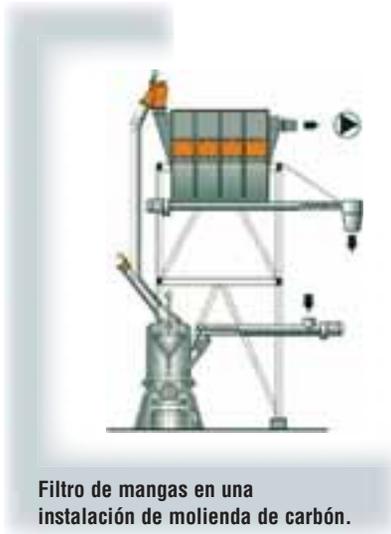
Su función consiste en retirar o retener «polvo» de las zonas de proceso, donde afecta a la salud, la seguridad y a la calidad de la producción.

Existen dos tipos de filtros en la industria: los de desempolvado y los de proceso. La gran diferencia radica en la concentración de polvo que circula por sus conducciones.

En los filtros de desempolvado la concentración es baja y discontinua, ya que retiran el polvo de manera puntual en ciertos momentos. Siempre actúan a depresión, ya que aspiran el polvo que en este caso es un residuo. Existe una gran variedad de filtros de mangas los cuales se pueden instalar por unidades independientes o en una unidad centralizada.

Los filtros de proceso constituyen parte del sistema de producción y en éstos la concentración de polvo es elevada. Normalmente actúan a depre-

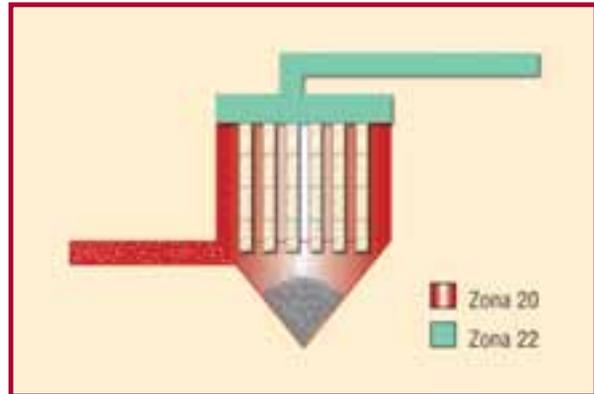




Filtro de mangas en una instalación de molinero de carbón.

sión, aunque nos podemos encontrar con algún equipo que trabaja a presión positiva. Este último caso presenta un riesgo considerable ya que la soplante, es una posible fuente de ignición.

Si el polvo es combustible y tiene un tamaño de partícula suficientemente pequeño, lo habitual es tener una clasificación de zonas en el interior del equipo, según se muestra en la siguiente figura:



5.2. Fuentes de ignición

A continuación se describen las fuentes de ignición más habituales:

- **Ingreso de partículas incandescentes.** El tamaño de las mismas es importante, y al circular por una conducción con mucho aire, suelen llegar a extinguirse antes de llegar al filtro. Es muy importante conocer las distancias mínimas de instalación de ciertos equipos como molinos, soplantes, lijadoras, etc. No obstante si una partícula incandescente alcanza el filtro podríamos tener una explosión, ya que siempre, ésta, tiene la suficiente energía. Por ello, es una aplicación recomendable la instalación de sistemas de extinción de chispas cuando preveamos la posibilidad de generación de las mismas.
- **Electricidad estática.** Durante el proceso, las partículas golpean continuamente a las mangas dejándolas cargadas electrostáticamente, pudiendo llegar a producir una descarga, entre mangas, de energía suficiente para inflamar el polvo. La solución pasa por colocar mangas antiestáticas y una adecuada puesta a tierra del filtro de mangas.
- **Equipo eléctrico y mecánico.** Es preciso la adecuación de los equipos (categoría) a la clasificación de zonas. Por ejemplo, los filtros de mangas suelen disponer de lectores de nivel, que deben ser seleccionados de tal manera que la parte que está en el interior (zona 20) del filtro de mangas sea categoría 1D y la exterior (zona 22) sea 3D. Así pues, la correcta prevención se establece a partir de una adecuada selección y mantenimiento de los equipos.
- **Factor humano.** Esta es una de las causas más significativas de las explosiones. Ya sea por desconocimiento, en la mayoría de los casos



o por incumplimiento de normas. Por ello, toda instalación con riesgo de explosión (ATEX) debe disponer de estrictos protocolos de trabajo, que aborden desde la limpieza (uso de aire comprimido) a los trabajos en caliente (corte y soldadura). Por ejemplo, en operaciones de soldadura efectuadas correctamente, por no esperar el tiempo suficiente a que se enfríe, se han ocasionado explosiones.

- **Incendio.** Un incendio en las áreas anexas a este tipo de instalaciones puede ser la causa de la explosión del propio filtro. Deben de considerarse, en este sentido, las medidas de prevención y control de incendios en las áreas afectadas.
- **Explosión en instalaciones cercanas.** Si bien esta causa es de menor probabilidad, sus consecuencias pueden ser catastróficas, de ahí la importancia de contemplar medidas de aislamiento de explosiones. Por ejemplo, si se produce una explosión en un molino, y ésta llega al filtro de mangas, la severidad de la explosión hará que las medidas de protección adoptadas tan sólo atenúen las consecuencias y sean insuficientes.

Ref.	Atmósfera explosiva			Fuente de Ignición			Efectividad de la Fuente de Ignición
	Tipo	Frecuencia	Localización	Tipo	Causa	Probabilidad	
1	Nube explosiva de polvo	En operación normal	En el interior del filtro en «zona sucia»	Partículas incandescentes	Friciones en alguna zona del proceso	Ocasional	ALTA Depende el tamaño de partícula incandescente
2	Nube explosiva de polvo	En operación normal	En el interior del filtro en «zona sucia»	Electricidad estática	Continuo contacto de partículas con las mangas	Remota	Depende de la sustancia en descarga en chispa suele ser suficiente
3	Nube explosiva de polvo	En operación normal	En el interior del filtro en «zona sucia»	Equipos eléctricos como nivel	Fallo o mala selección	Remota	Suficiente
4	Nube explosiva de polvo	En operación normal	En el interior del filtro en «zona sucia»	Superficie caliente	Soldaduras, corte, incendio, etc...	Ocasional, si no existen protocolos de trabajo	ALTA
5	Nube explosiva de polvo	En caso de explosión	Conducciones de aspiración	Llamas	Explosión del filtro	Remota	ALTA

Al efectuar la evaluación de riesgo de explosión en un filtro de mangas, debe considerarse que las características intrínsecas del mismo nos sitúan, a priori, en un nivel A ó B. Si se llega a producir una explosión en el filtro, las consecuencias serían catastróficas para el equipo y para el personal que esté en las proximidades. La adopción de las consiguientes medidas de prevención y protección nos sitúan en unos niveles de riesgo C ó D (ver Anexo A: Metodología de evaluación del riesgo). Es de significar el control de la propagación de explosión, mediante la adopción de medidas de aislamiento (químico o mecánico).



5.3. Técnicas de prevención

En las instalaciones de filtros de mangas debemos considerar las siguientes medidas preventivas:

- **Mangas antiestáticas.** Su utilización se determina a partir de que la EMI (Energía Mínima de Inflamación) de la sustancia sea muy baja (5 -10 mJ).
- **Puesta a tierra.** Garantizándose la conexión de la totalidad de los componentes del filtro a tierra.
- **Adecuación de los equipos a zonas ATEX.** Así para zona 20 equipos de categoría 1D. Para el exterior y zona limpia del filtro, zona 22, equipos de categoría 3D.
- **Disposición de sistemas de extinción de chispas.** Técnica recomendable en aquellos equipos en los que pueda darse la generación de éstas. Hay que tener en cuenta que estos equipos de extinción realizan dos funciones: una de alarma y otra de neutralización de la ignición.



Detectores ópticos.

5.4. Técnicas de protección

Al efectuar la selección de las técnicas de protección deberá considerarse:

- La **localización** del filtro de mangas y su entorno, que determina la técnica de protección, dependiendo si está en el exterior o en el interior de las instalaciones, así como la eficacia de la técnica seleccionada.
- La **sustancia** en cuestión, si ésta comporta riesgo higiénico para las personas o el medio ambiente (tóxica, etc.), o si su explosividad es muy elevada.



- La **resistencia** del filtro que está condicionada por su tamaño y forma geométrica.
- La **posibilidad o no de parada del proceso**. Plantas con producción estacional, (por ejemplo, ciertas empresas de la alimentación actúan por campañas, verano, Navidad, cosecha, etc.) o plantas de tratamientos de residuos urbanos.
- Si **existe riesgo en la propagación de la explosión**. En estos casos se deberán tomar medidas de aislamiento de explosiones, dependiendo de las sustancias con mayor explosividad y sensibilidad a la ignición. Además, es necesario considerar que los mayores diámetros de las conducciones, la concentración de combustible y las distancias entre recipientes, determinan tomar medidas de aislamiento y en caso de duda, consultar con un experto, antes de decidir las medidas a adoptar.

5.4.1. Tabla de selección

LOCALIZACIÓN	Técnica	Indicaciones
Exterior	Venteo	Asegurar la zona de venteo
Interior cerca del exterior	Venteo con conducto	Asegurar la zona de venteo
Interior sin posibilidad de conducción filtro pequeño	Venteo con apagallamas	Tener en cuenta la onda expansiva
Interior sin posibilidad de conducción filtro grande	Supresión de explosiones	La empresa debe ser consciente de las particularidades de esta técnica activa
SUSTANCIA	Técnica	Indicaciones
TÓXICA O PELIGROSA	Supresión	
EXPLOSIVIDAD ELEVADA	Supresión	
RESISTENCIA	Técnica	Indicaciones
BAJA	Supresión	Tener en cuenta la presión adicional del propelente del supresor
¿PUEDE PARAR?	Técnica	Indicaciones
NO SE PUEDE PARA	Sistemas activos	Las consecuencias de una explosión son menores para el equipo con el uso de sistemas activos, que con pasivos como el venteo

5.4.1.1. El venteo de explosiones, consideraciones

La principal característica de un filtro de mangas viene determinada por la presencia de las mismas. Estas mangas tienen un papel muy importante en la evolución de la explosión. Por un lado, son la frontera entre la zona «sucia» donde hay combustible y la «limpia» donde sólo hay aire. Ello nos limita el





Ventoe lateral en horizontal.

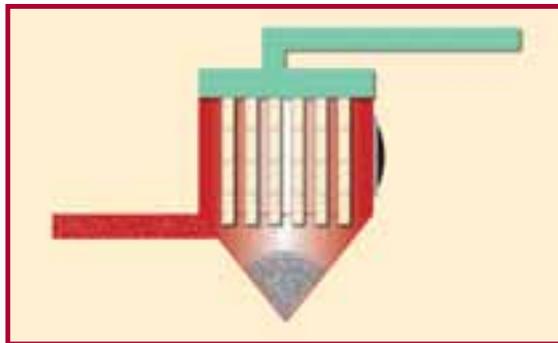
volumen donde se producirá la explosión, si se dan una serie de circunstancias, que veremos más adelante. Las mangas se soportan en una estructura metálica, denominada jaula, de cuya resistencia dependerá que ésta no se desprenda, o se deforme y puedan taponar o reducir el área de ventoe.

Así pues, el dimensionado del área de ventoe y la eficiencia de esta área, depende de la colocación del ventoe con respecto a las mangas.

5.4.1.2. Posibles ubicaciones del ventoe

1. Las mangas tapan el ventoe

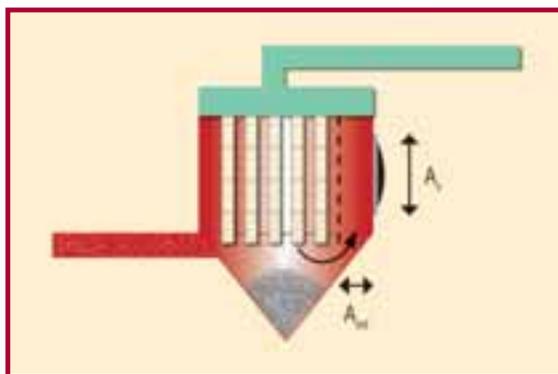
Las mangas por debajo del ventoe.



Esta situación es la más problemática, ya que el área de ventoe puede quedar obstaculizada por las mangas al dificultar la salida de la explosión y limitar su eficiencia de ventoe o, en el peor de los casos, porque se desprendan y bloqueen el mismo, y, en definitiva, la presión residual en su interior llegará a un valor superior al calculado, provocando la deformación o incluso la rotura del filtro.

Como medida cautelar es recomendable dejar una separación mínima entre la pared a instalar el panel de ventoe y la manga más próxima, equivalente al área de ventoe (ver figura adjunta).

Espacio libre entre mangas y ventoe.

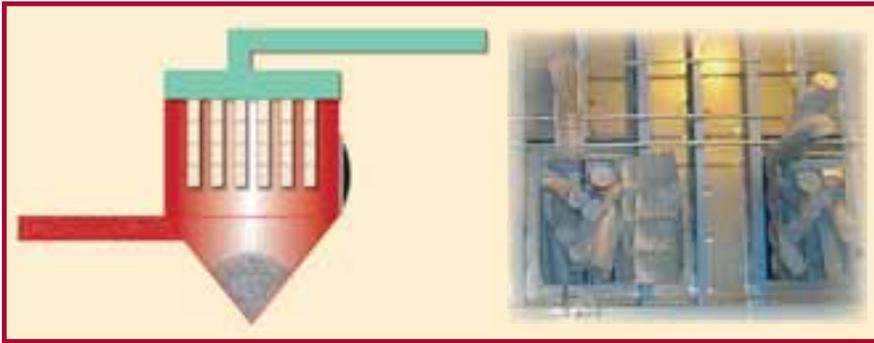


Donde el área interior (A_{int}) libre desde las mangas a la pared donde está situado el panel es igual o superior al área de ventoe (A_v):

$$A_{int} [m^2] \geq A_v [m^2]$$



2. Las mangas no cubren la parte inferior del venteo.



Filtro tras explosión con mangas expulsadas parcialmente hacia fuera.

Si bien, no es la situación ideal, si afecta a la eficiencia del venteo. Las mangas en caso de desprenderse salen hacia arriba y, por tanto tan sólo reducen el área de venteo. Por ello, en el cálculo del venteo hay que considerar todo el volumen del filtro (parte sucia y limpia), como medida cautelar y «sobre dimensionarlo».

3. Las mangas están por encima del venteo.



Las mangas por encima del venteo.

Esta situación es la ideal. Con el venteo totalmente libre su funcionamiento será óptimo. En este caso, el cálculo del área de venteo, se realiza teniendo en cuenta, sólo, el volumen de la zona sucia del filtro.

4. El venteo orientado hacia arriba.



Venteeo hacia arriba.



Esta aplicación tiene considerables ventajas en cuanto a la seguridad del venteo. Por el contrario, la eficiencia de este venteo será algo menor que en el caso anterior.



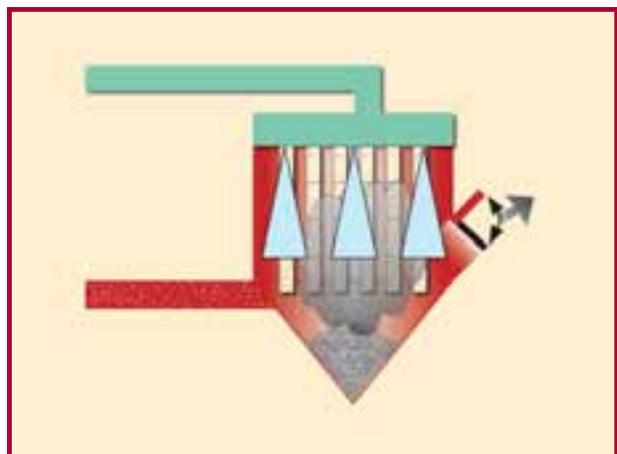
Filtro de mangas protegido con puertas de venteo de explosiones.

5. El incendio, tras el venteo de la explosión:

Ante esta situación es recomendable el empleo de agentes de extinción:

- CO_2 , más limpio, pero que requiere la instalación de puertas de venteo.
- Agua, más económico, si empleamos paneles de venteo que tras la explosión quedan abiertos.

Extinción mediante CO_2
tras cierre de las puertas
de venteo.



5.4.1.3. La supresión de explosiones, consideraciones

Esta técnica, al ser una técnica activa y más sofisticada, se limita a aquellas situaciones en que: el producto es tóxico, o es muy explosivo ($K_{m\acute{a}x}$ altas), o en aquellas instalaciones donde una parada prolongada no se puede permitir o resultaría muy costosa.

Cabe destacar que, para la instalación de un sistema de supresión, las intervenciones sobre el equipo se limitan, sólo, a soldar unas bridas (para detectores y supresores).

Ante el diseño de un sistema de supresión tenemos que considerar:

- La cantidad y ubicación de los detectores de explosión, de tal manera que las pulsaciones de limpieza, martillos neumáticos y otras posibles interferencias no afecten a su correcto funcionamiento, evitándose así falsos disparos.
- La cantidad y ubicación de los supresores, de tal manera que cubran todo el volumen.
- La elección del agente supresor, teniendo en cuenta si debe ser, o no, de calidad alimenticia. (Atención a aquellos sistemas cuyos iniciadores de disparo puedan lanzar al proceso metales pesados, como por ejemplo, el plomo, cadmio, etc.).



Instalación protegida mediante supresión de explosiones.

5.4.1.4. El aislamiento de explosiones, consideraciones

Como técnica de protección es de significar el aislamiento de explosiones:

- Si se utiliza la técnica de filtro resistente a la explosión (equipos con una $P_{dise\tilde{n}o}$ superior a la $P_{m\acute{a}x}$ del producto en cuestión) siempre debe-





Aislamiento químico.

Válvula Kammerer.

remos tomar medidas de aislamiento mediante válvulas de accionamiento rápido.

- El empleo de venteo permite alcanzar P_{red} más bajas y, por tanto, el aislamiento dependerá en gran medida de la sección de la tubería de aspiración y de la naturaleza del producto.
- Si la técnica seleccionada es la supresión, las medidas de aislamiento serán menores, ya que la supresión extingue el fuego, por lo que la propagación será muy difícil.



Filtro protegido con supresión y aislamiento.

La técnica habitual de aislamiento es el aislamiento químico, el cual consiste en la inyección del agente supresor en la conducción de aspiración. Este tipo de aislamiento tiene unas limitaciones máximas: $K_{m\acute{a}x}$ (400 bar m/s) y P_{red} (1 bar).

Así mismo, si la P_{red} del filtro es superior a 0,5 bar, es recomendable el empleo de válvulas Ventex o de accionamiento rápido en la conducción limpia.



6

Capítulo



La prevención y protección de explosiones en molinos

XAVIER DE GEA RODRÍGUEZ
XAVIER MARTINO BOFARULL



Capítulo

6 La prevención y protección de explosiones en molinos

6.1. Molinos

La molienda se basa en la reducción del tamaño de un sólido, con el fin que su posterior utilización sea más eficiente, y así se disuelva o mezcle mejor, o, en el caso de la alimentación, que el organismo lo absorba correctamente, o, en un proceso de combustión, que quemé aprovechando al máximo su poder calorífico, minimizando la cantidad de cenizas.

Existen varios tipos de molinos: los de bolas para tamaños muy finos, los de rodillos y los de martillos. Como modelo de referencia, en este capítulo nos vamos a centrar en los que tienen un mayor nivel de riesgo: los molinos de martillos.

Molino de martillos:

Se fundamenta en golpear el sólido hasta que éste se rompa al tamaño de partícula deseada (tamaño regulado por el cedazo). Combinado con este proceso, puede existir un clasificador o criba que vuelve a enviar al molino las partículas de mayor tamaño. También existen instalaciones con molinos en serie, es decir, uno hace una molienda gruesa y el posterior la fina.

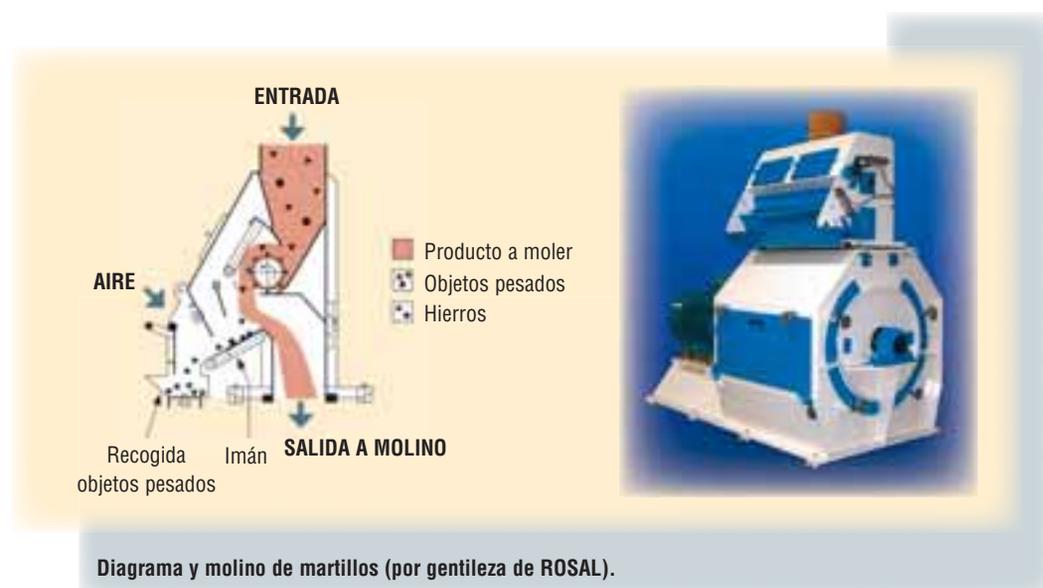


Diagrama y molino de martillos (por gentileza de ROSAL).



6.2. Fuentes de ignición

Relacionado con este tipo de proceso se suelen considerar las siguientes:

- **Generación de chispas.** Causadas por fricción mecánica debida al ingreso de un objeto extraño, metálico o no. Este aspecto será el que se debe de cuidar de manera especial en este tipo de maquinaria. Por un lado, mediante la instalación de detectores de metales y / o imanes, (atención a que cada vez se utilizan más metales no férricos), y de separadores físicos. También es recomendable realizar un cernido de seguridad previo a la molienda, de manera que se eliminen los gruesos no deseables (posibles cuerpos extraños) y los finos que no necesitan ser molidos, entrando en el molino sólo el tamaño a moler. Otra causa generadora de chispas puede ser el desgaste de los martillos y paredes del equipo, así como las cribas. Por ello se deben revisar con la periodicidad suficiente (martillos, cribas y paredes), siendo de vital importancia confirmar que se mantienen las distancias entre éstos. Así mismo, es recomendable la instalación de un sistema de extinción de chispas tras el molino.

- **Calentamiento de los rodamientos.** Es importante realizar un chequeo del estado de los rodamientos: engrasado y vida útil. Esta última,

se realiza, predictivamente, mediante un control de las vibraciones, que son un elemento fiable de si un rodamiento esta llegando al final de su vida útil. Es recomendable la instalación de un sensor para el control de la temperatura del rodamiento, si esta aumenta, puede ser sinónimo de fricción por un engrasado insuficiente o desgaste.

- **Atasco a la salida del molino.** En el caso de producirse un atasco a la salida del molino, éste se sobrellenaría y podría producirse un incendio. Por ello, es siempre recomendable la instalación de un sensor de atasco o continuidad.



Consecuencias de la explosión de un filtro causada por el molino de martillos.

Es de significar además:

- **Ingreso de partículas incandescentes.**
- **Electricidad estática.**
- **Equipo eléctrico.** Los equipos situados en el interior del molino deben ser de categoría 1D y los equipos instalados en el exterior del molino pueden ser 3D.
- **Factor humano.** Esta es una de las causas más significativas de las explosiones. Ya sea por desconocimiento, en la mayoría de los casos o por incumplimiento de normas. Por ello, toda instalación con riesgo de incendio y/o explosión (ATEX) debe disponer de estrictos protocolos de trabajo, que aborden desde la limpieza (uso de aire comprimido) a los trabajos en caliente (corte y soldadura).



- **Incendio.** Éste puede ocasionar graves e importantes explosiones. Es preciso, en este sentido, garantizar las medidas de prevención y control contra incendios.
- **Una explosión en las inmediaciones ó en el propio equipo.** La ubicación habitual de los molinos (interior y zonas transitadas), puede determinar que cualquier explosión en su interior comporte graves consecuencias. De ahí la importancia de contemplar medidas de protección y de aislamiento contra explosiones.

Ref.	ATMÓSFERA EXPLOSIVA			FUENTE DE IGNICIÓN			Efectividad de la Fuente de Ignición
	Tipo	Frecuencia	Localización	Tipo	Causa	Probabilidad	
1	Nube explosiva de polvo	En operación normal	En el interior del molino	Partículas incandescentes	Fricciones en alguna zona del proceso	Ocasional	ALTA
2	Nube explosiva de polvo	En operación normal	En el interior del molino	Electricidad estática	Continuo contacto de partículas con los martillos	Remota	Depende del producto
3	Nube explosiva de polvo	En operación normal	En el interior del molino	Equipos eléctricos	Fallo o mala selección	Remota	Suficiente
4	Nube explosiva de polvo	En operación normal	En el interior del molino	Superficie caliente	Soldaduras, corte, incendio, etc...	Ocasional, si no existen protocolos de trabajo	ALTA
5	Nube explosiva de polvo	En caso de explosión	Conducciones de alimentación	Llamas	Explosión	Remota	ALTA

Una de las características específicas de los molinos es su resistencia. Debe considerarse, en este sentido, el posible efecto de la propagación de la explosión, a través de las conducciones, las cuales comunican molinos en serie, tolvas y silos.

6.3. Técnicas de prevención

Como criterio general, debemos considerar las siguientes medidas preventivas.

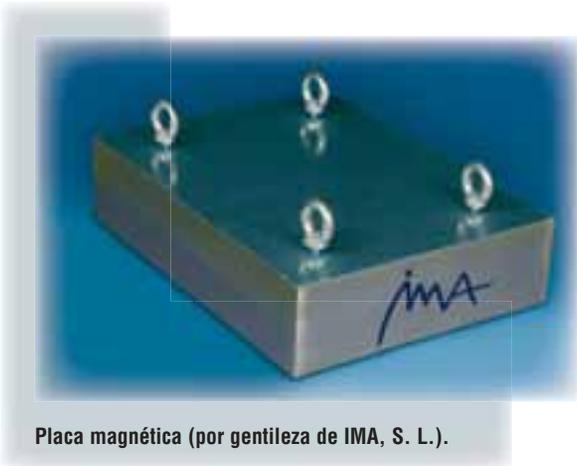
En el propio EQUIPO:

- **Puesta a tierra.**
- **Adecuación de equipos a zonas ATEX:** Los equipos situados en el interior del molino deben ser de categoría 1D y los equipos instalados en el exterior del molino pueden ser 3D.



Molino de martillos tras una explosión debida al ingreso de una piedra.





Placa magnética (por gentileza de IMA, S. L.).

A la ENTRADA del molino:

- **Empleo de separadores físicos, cribas.** Los molinos se destinan habitualmente a la reducción del tamaño de productos de origen natural y es muy habitual que existan piedras y objetos extraños entre el producto a moler.
- **Imanes.** Es una medida muy eficaz para la eliminación de metales ferromagnéticos. La utilización de imanes autolimpiables, es lo más recomendable, ya que si un imán se satura perderá su eficacia.
- **Detector de metales.** El empleo de estos dispositivos se hace recomendable

debido a que cada vez se utiliza más el acero inoxidable, el aluminio y otros metales no ferromagnéticos.

- **Inertización, con N₂ o CO₂.** Es una práctica habitual para sustancias: muy inflamables (azufre), de elevado valor económico o que se producen en pequeño volumen. La utilización de esta técnica exige un elevado grado de estanqueidad en el proceso, debido a que se trabaja a cierta sobrepresión del gas inerte. Además hay que tener en cuenta la monitorización del oxígeno y el aporte automático del gas.

A la SALIDA del molino:

- **Extinción de chispas.** Su control se establece mediante detectores ópticos y la inyección de agua en la conducción.

6.4. Técnicas de protección

Se deberá considerar:

Localización del molino (interior o exterior), la cual condiciona la técnica de protección.



Molino y filtro con venteo conducido (por gentileza de Vimax).



Tamaño. Un molino pequeño puede ser resistente a la explosión (PSR). En tal caso el aislamiento frente a la propagación de explosiones se hace imprescindible mediante válvulas de accionamiento rápido. En molinos de mayor tamaño se puede elegir el venteo sin llamas, combinado con un sistema de aislamiento, y para volúmenes superiores, la técnica de supresión de explosiones.

Posibilidad o no de parada.

Riesgo en la propagación. En este caso se deberán tomar medidas de aislamiento de explosiones, dependiendo de las distancias y de los volúmenes interconectados; por ello en caso de duda es mejor tomar medidas de aislamiento o consultar con un experto.

6.4.1. Tabla de Selección

LOCALIZACIÓN		Técnica	Consejo
Interior	SÍ	Resistente a la explosión	Asegurar el aislamiento mediante válvulas de accionamiento rápido.
Interior cerca del exterior	SÍ	Venteo con conducto	Asegurar la zona de venteo, tener en cuenta las vibraciones sobre el conducto
Interior sin posibilidad de conducción	SÍ	Venteo sin llamas	Tener en cuenta la onda expansiva
Interior sin posibilidad de conducción	SÍ	Supresión de explosiones	Ideal para volúmenes grandes

6.4.1.1. Molinos resistentes a la explosión

La característica específica de estos molinos es su capacidad de resistir presiones superiores a la Pmax de la sustancia.

La medida de control se establece mediante válvulas mecánicas de aislamiento de explosiones: para las conducciones limpias, válvulas ventex, y para las conducciones de extracción del polvo, válvulas de accionamiento rápido.

No se deben utilizar sistemas de aislamiento químico, ya que el valor de la presión existente (> 2 bar) en la conducción, limita la eficacia del agente extintor.

6.4.1.2. El venteo de explosiones, consideraciones.

El venteo debe considerar la existencia en el molino de dos volúmenes separados por la criba: cámara de molienda y tolva receptora. Un molino es un equipo resistente por lo que el área de venteo necesaria será pequeña.

La ubicación del venteo se realizará en la tolva de recepción del producto molido, o en la parte alta de la criba.



6.4.1.3. La supresión de explosiones, consideraciones

Esta técnica esta indicada para aquellos procesos:

- de gran volumen (molinos de carbón),
- o que se encuentren en el interior (molinos de azúcar, pigmentos, etc.),
- o donde la producción del resto de la instalación dependa de ellos.



Molino de azúcar protegido con supresión de explosiones (por gentileza de Abbott Laboratories).

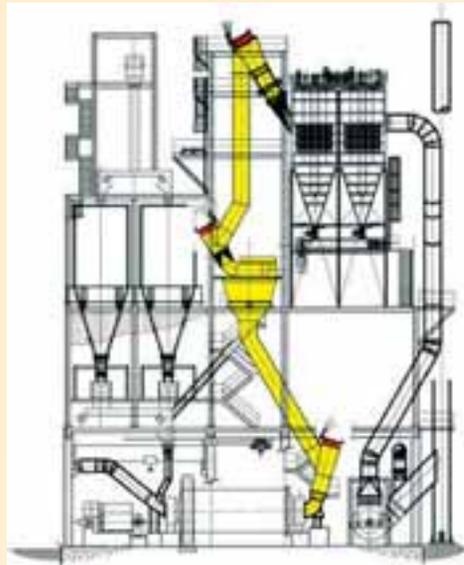
La detección se realiza por incremento de presión y la supresión se realizará con agentes químicos.

6.4.1.4. El aislamiento de explosiones, consideraciones

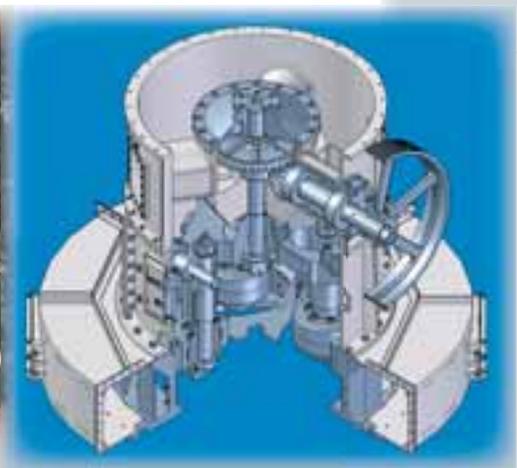
La elección de la técnica dependerá de si el molino dispone de venteo, en cuyo caso utilizaremos aislamiento químico o mecánico, o si el molino es resistente a la explosión, en cuyo caso, la selección del sistema de aislamiento depende del diámetro de las conducciones. Para molinos pequeños se utilizan válvulas de aislamiento, y para grandes molinos, diámetros superiores a 500 mm, se utilizarán diversores de llama.



Molino con clasificador protegido mediante tres divisores.



En este sistema de protección es muy importante considerar la ubicación de los dispositivos de aislamiento, la cual debe ser realizada por personal especializado, ya que esta ubicación es crítica para garantizar la eficacia del sistema.



Molino pendular para coque de petróleo (por gentileza de Molaris).



7 Capítulo



**La prevención
y protección
de explosiones
en elevadores
de cangilones**

**XAVIER MARTINO BOFARULL
XAVIER DE GEA RODRÍGUEZ**



Capítulo

7

La prevención y protección de explosiones en elevadores de cangilones

7.1. Elevador de cangilones

Los elevadores de cangilones son habituales en las industrias que almacenan sólidos. Antes de seleccionar los sistemas de protección de estos equipos hay que tener en cuenta diferentes aspectos que van a determinar el nivel de riesgo: En primer lugar destaca el tipo de producto que elevan, otro, muy importante, es la velocidad de trabajo (a mayor velocidad mayor riesgo) y las características materiales de los cangilones y de la banda, sin olvidar, además, los criterios de mantenimiento del equipo.

La clasificación de zonas dependerá del estado en que se encuentre el producto y de su velocidad de desplazamiento: un producto sucio o polvoriento determinará una zona 20 en el interior del elevador y zona 22 alrededor de las zonas de transferencia (si éstas no son herméticas). Un producto limpio y movido a velocidad lenta determinará una zona 22 en el interior del elevador y no clasificada en el exterior del mismo (si se limpia adecuadamente).

7.2. Posibles fuentes de ignición

Deben considerarse:

- **Superficies calientes.** Posibles deslizamientos de la banda del elevador y calentamiento de los rodamientos.
- **Partículas incandescentes,** a través de la boca de entrada del elevador.
- **Electricidad estática.** Pueden originarse descargas electrostáticas en función del producto transportado y, de la velocidad del elevador. Frente a esta fuente de ignición es necesario valorar la elección de una banda antiestática, evitando el uso de cangilones de plástico, que no sean antiestáticos.
- **Chispas por fricción mecánica.** Causadas por el rozamiento del cangilón contra la caña del elevador, ya sea por el desalineado de la banda (especialmente crítica en elevadores altos), o por la rotura del mismo.
- **Equipo eléctrico.** Los equipos situados en el interior del elevador (zona 20) deben ser de categoría 1D y los instalados en el exterior (zona 22) pueden ser 3D.
- **Factor humano,** asociado a un incorrecto mantenimiento. Ejemplo de ello es el tensado incorrecto de la banda (exceso en el tensado de la banda provoca la rotura de la misma, y, por el contrario, su deslizamiento e incendio). Por ello, toda instalación con riesgo de





Explosión en fábrica de piensos.

industria agroalimentaria se originan en el elevador (prioritariamente en el de recepción). No obstante, si se origina en la piqueta o en el silo, los efectos sobre el elevador serán devastadores, de ahí la necesidad de aplicar medidas de prevención.

incendio y/o explosión (ATEX), debe disponer de estrictos protocolos de trabajo que contemplen la limpieza (uso de aire comprimido) y los trabajos en caliente (corte y soldadura). Uno de los accidentes más graves ocurridos en España, tuvo su origen en una operación de soldadura de un elevador de Cangilones.

- **Incendio.** Es preciso en este sentido garantizar un mantenimiento eficaz y periódico, en lo referente a engrasado y limpieza de los rodamientos. Deben considerarse las acumulaciones de producto en el pie del elevador.

- **Explosión.** Estadísticamente más de la mitad de las explosiones en la in-

industria agroalimentaria se originan en el elevador (prioritariamente en el de recepción). No obstante, si se origina en la piqueta o en el silo, los efectos sobre el elevador serán devastadores, de ahí la necesidad de aplicar medidas de prevención.

Ref.	Atmósfera explosiva			Fuente de Ignición			Efectividad de la Fuente de Ignición
	Tipo	Frecuencia	Localización	Tipo	Causa	Probabilidad	
1	Nube explosiva de polvo	En operación normal	En el interior del elevador	Partículas incandescentes	Fricciones en alguna zona del proceso, trabajos en caliente próximos sin pantallas, «colillas»	Ocasional	ALTA
2	Nube explosiva de polvo	En operación normal	En el interior del elevador	Electricidad estática	Discontinuidad eléctrica, pérdida de tierra, banda antiestática	Remota	Baja
3	Nube explosiva de polvo	En operación normal	En el interior o exterior del elevador	Superficie caliente	Banda que patina, o se desalinea, rodamiento que se gripa	Ocasional	ALTA
4	Nube explosiva de polvo	En operación normal	En el interior del elevador	Superficie caliente	Exceso de producto en el pie, el cangilón se clava y la banda patina	Ocasional	ALTA
5	Nube explosiva de polvo	En operación normal	En el exterior del elevador	Paredes del elevador calientes	Soldaduras, corte, incendio, etc...	Ocasional, si no existen protocolos de trabajo	ALTA
6	Nube explosiva de polvo	En caso de explosión	El silo explota y se propaga	Llamas y presión	Explosión del silo	Remota	ALTA



Al efectuar la evaluación de riesgo de explosión en un elevador de cangilones, debe considerarse que las características intrínsecas del mismo nos sitúan, a priori, en un nivel A ó B. Si se llega a producir una explosión en el elevador, las consecuencias serían catastróficas para el equipo y los silos en proceso de llenado. La adopción de las consiguientes medidas de prevención y protección nos sitúan en unos niveles de riesgo C ó D (ver Anexo A: Metodología de evaluación de riesgo). Es de significar el control de la propagación de explosión, mediante la adopción de medidas de aislamiento (químico o mecánico).

La peor consecuencia de la explosión en un elevador se produciría si ésta llegara al silo, ya que éste se está llenando y por tanto dispondrá de un gran volumen de polvo en suspensión, que originará el desarrollo de una potente deflagración, y explosiones en cadena, si se trata de una batería de silos. Entre el elevador y los silos existen transportadores horizontales, distribuidores de producto, tolvas de recepción, los cuales pueden favorecer el aislamiento de la explosión.

Es preciso disponer de un sistema de aislamiento, desde el elevador a los silos, mediante un sistema de supresión química o simplemente disponiendo de «un tapón de producto» que, en algunos casos, puede ser suficiente para pequeñas instalaciones.

7.3. Técnicas de prevención

La dificultad de garantizar la eficacia total de las técnicas preventivas, determina que éstas deban complementarse con técnicas de protección, las cuales se describen más adelante.

A veces las técnicas de prevención más efectivas son la más económicas, aunque paradójicamente por su sencillez suelen ser las más difíciles de implementar. Por ejemplo, prohibir fumar tiene un coste muy bajo y, aún así, es una medida que no es fácil de hacer cumplir.

Los elevadores deben diseñarse e instalarse correctamente. En este sentido hay que evitar las acumulaciones de producto en los mismos y, por tanto, los riesgos de autocombustión. Por otro lado, una adecuada selección de sus componentes, cangilones y banda, es básica, ya que ello permitirá optimizar el funcionamiento, evitar roturas y desgastes prematuros.

7.3.1. Selección del cangilón

Para la correcta selección, hay que tener en cuenta:

- La abrasión.
- La adherencia.
- La temperatura.
- La electricidad estática.
- La formación de nubes de polvo.
- El uso de refuerzos.
- El material.
- El tipo de descarga.
- La forma de la caña (circular o rectangular).



El cangilón es muy importante en el momento de asegurar una buena descarga. La combinación entre la velocidad, la proyección y el coeficiente de fricción producto/cangilón, son los responsables de que el cangilón descargue adecuadamente. Cuanto mayor es el diámetro de la polea, mayor puede ser la proyección del cangilón y la velocidad de giro, aumentando su rendimiento. Una proyección demasiado grande, ocasiona retorno de producto por la caña de bajada. Así mismo, una proyección demasiado pequeña, ocasiona que el producto descargue prematuramente y golpee contra la cabeza del elevador, retornando producto por las cañas de subida y/o bajada.

El cambio de cangilones de metal por cangilones de plástico, determina contemplar las variables específicas del proceso. Por ejemplo: el coeficiente de fricción del polietileno es más bajo que el del acero, ello propicia que el producto descargue antes y haya peligro de retorno.

7.3.2. La cadena elevadora

No se utilizarán cadenas metálicas con polvo combustible ya que ello propicia fuentes de ignición (chispas de origen mecánico).



Efecto de calentamiento por patinado de la correa.



Efectos de la rotura de la correa en un elevador.



7.3.3. Selección de la banda y del cangilón

Deben considerarse, prioritariamente, las características antiestáticas e ignífugas de la banda y del cangilón.

La correcta selección de la banda previene roturas, debiéndose considerar, además:

- Temperatura.
- Abrasión.
- Potencia del motor.
- Ancho de banda.
- Producción Tn/h.
- Altura del elevador.
- Proyección del cangilón.

En especial debe garantizarse la resistencia a la rotura de la banda. Es recomendable el sistema de unión de la banda con grapas y no por solape, evitando, así, la rotura prematura.

En relación a la polea, hay que considerar que cada tipo de banda admite un diámetro mínimo. Una polea demasiado pequeña puede ser causa de deslizamiento, o puede dañar los tejidos internos de la banda, reduciendo de forma importante su resistencia a la rotura.

En lo referente a la cobertura de la banda, hay que considerar los posibles efectos dañinos por condiciones especiales de temperatura o de contacto con algún producto oleaginoso o grasiento.

Debe evitarse el empleo de cangilones sin fondo o agujereados, los cuales generan una mayor dispersión del polvo en nube y, a su vez, menor aislamiento en caso de explosión.

La selección correcta de cangilones y banda evitará roturas prematuras y descargas electrostáticas.

7.3.4. Prevención en los componentes

En este aspecto es importante considerar que:

- Los registros de inspección accesibles a las personas han de ser suficientemente reforzados, para no actuar como venteo en caso de explosión. Deben ser construidos con materiales antiestáticos (o simplemente metálicos).
- Debe garantizarse la continuidad de puesta a tierra del elevador (cañas, cabeza y pie).
- La polea motriz, en la cabeza, debe:
 - Protegerse con material antiestático.
 - Ser cóncava.
- El protocolo de mantenimiento deberá contemplar la supervisión de la tensión de la banda y el estado de los rodamientos.



- Es recomendable la instalación de un detector de pérdida de velocidad en el pie o en los cangilones.
- Uso de deflectores de material conductor, en el pie, y puesta a tierra de los mismos.
- El mantenimiento de la tensión de la banda y limpieza periódica del pie.
- En los rodamientos, instalación de un detector de temperatura, uso de engrasadores automáticos, y mantenimiento periódico.
- Instalación de separadores magnéticos y /o detectores de metales y / o detectores ópticos, en la carga (evitándose la entrada de objetos extraños y / o incandescentes).
- Instalación de un detector de atascos en la salida de producto, y / o un detector óptico, en la descarga (evitándose el sobrellenado y la emisión de partículas incandescentes).

Un diseño seguro del elevador precisa, además, de un mantenimiento adecuado. Por ello:

- **Los trabajos de corte y soldadura** deben realizarse de manera segura, es decir, con la instalación fuera de servicio (limpia y sin producto) y siempre con **permisos de trabajo** que aseguren esta intervención de **alto riesgo**.
- **El correcto estado de la instalación eléctrica.**
- **La inspección periódica** del estado de los cangilones, de la banda, y de los deflectores, ya que la rotura de cualquiera de estas partes puede ser causa de ignición.

7.3.5. Sensores de alarma y/o paro

Consisten en:

Unidad central. Analiza las señales recibidas por los sensores y emite una señal de alarma y/o paro.

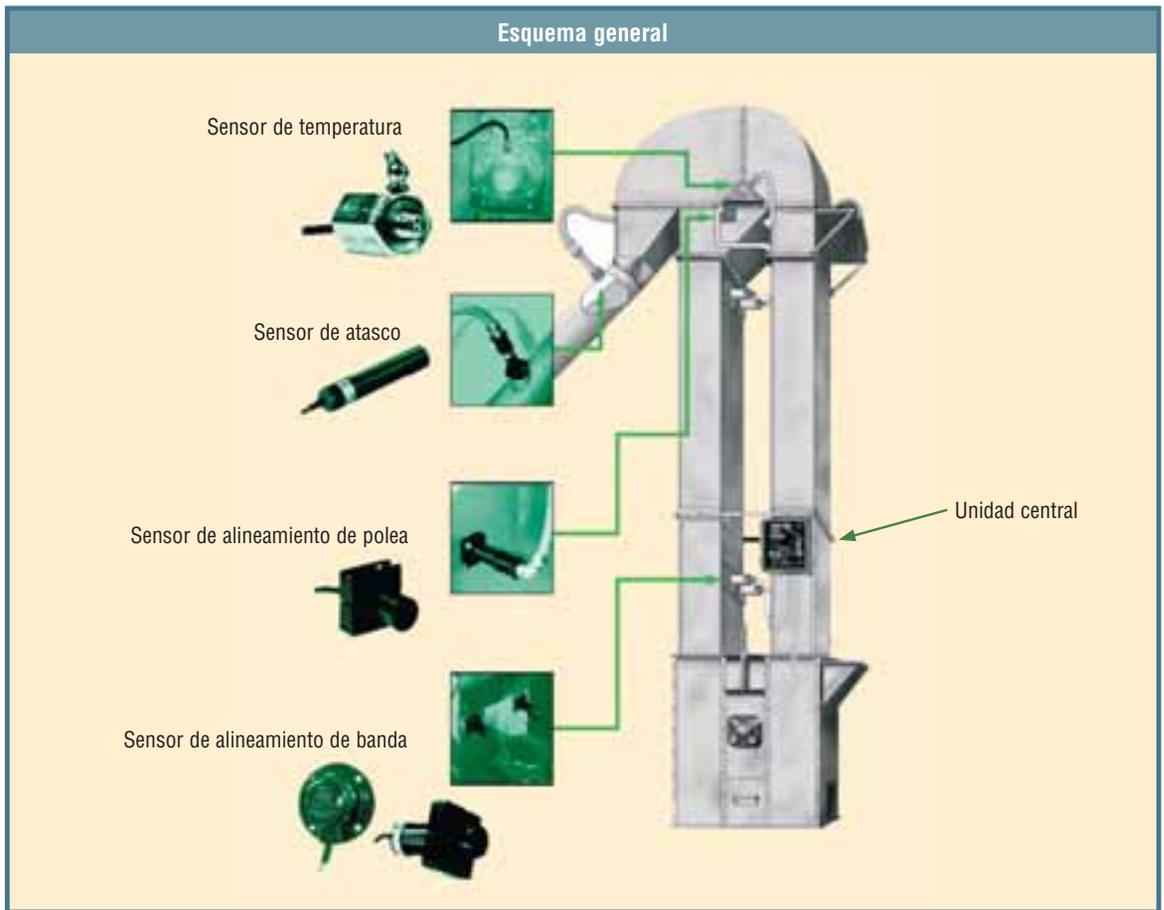
Sensores de movimiento. Colocados uno a cada lado de la caña detectan la masa del cangilón (cangilones metálicos). Para cangilones de plástico, los sensores deben colocarse detrás de la caña, detectando así el paso del tornillo metálico de sujeción del cangilón a la banda.

Sensores de temperatura. Detectan el incremento de temperatura de la grasa que lubrica el rodamiento.

Sensor de atascos. Detecta la presencia o ausencia de producto en un punto determinado, (por ejemplo en la tubería de salida del elevador).

Sensor inductivo de pérdida de velocidad. Detector de movimiento rotativo - inductivo, que da una señal de alarma al detectar una pérdida en la frecuencia de paso del eje del transportador.





7.4. Protección de explosiones

La protección de explosiones de un elevador se puede plantear en tres niveles:

Nivel básico

Consiste en el venteo de explosiones. Su configuración (número de paneles y ubicación) dependerá de la explosividad de la sustancia. Es recomendable la instalación de sistemas de paro automático (detector de la rotura del panel de venteo contra explosiones).

Nivel medio

Combinación de la técnica de venteo con la de aislamiento de explosiones (química), a la salida del elevador. Se evita así la propagación de la explosión desde el elevador a los silos de almacenamiento.

Nivel máximo

Utilización de la técnica de supresión de explosiones. Se reduce, con este nivel, el tiempo de parada del elevador, ya que éste no sufrirá daños colaterales de fuego y de sobrepresión.



7.4.1. Nivel básico: venteo

El área de venteo del panel debe ser mayor o igual al área de la sección de la caña.

El venteo debe dirigirse hacia una zona segura. No se permite el venteo en el interior de edificios, ya que los elevadores interiores recorren la totalidad de los mismos (de abajo hacia arriba), pudiendo causar incendios y/o explosiones secundarias.

Consideraciones específicas al uso de paneles de venteo:

Elevadores de dos cañas

El número de paneles de venteo dependerá de la explosividad del producto y básicamente de la $K_{m\acute{a}x}$ o K_{st} .

1. $K_{m\acute{a}x} \leq 100 \text{ bar. m/s}$: Pueden originar explosiones de polvo. Las presiones desarrolladas son bajas, y por ello, la propagación por las cañas poco probable. Se aconseja instalar, como mínimo, paneles de venteo contra explosión en la cabeza y pie del elevador, y así mismo, por lo menos un panel adicional en cada caña.
2. $100 \text{ bar. m/s} < K_{m\acute{a}x} \leq 150 \text{ bar. m/s}$: Aumenta la probabilidad de la propagación de la explosión a través de las cañas. Se deben instalar paneles de venteo contra explosión en la cabeza y pie del elevador y así mismo, paneles en cada caña, a una distancia como máximo de 6 metros de la cabeza y del pie.
3. $K_{m\acute{a}x} > 150 \text{ bar. m/s}$: Se deben ventear la cabeza, el pie y las cañas, con paneles de venteo contra explosión cada 6 metros, a lo largo de las cañas.

Con estas explosividades existe el riesgo de la propagación, por ello, si se mueve un producto con estas $K_{m\acute{a}x}$ deberíamos contemplar el paso siguiente al nivel medio de protección y combinar el venteo contra explosiones con el aislamiento de explosiones.

Si no es posible instalar paneles de venteo en el pie del elevador, el área de venteo correspondiente al pie se conseguirá instalando paneles en las cañas, lo más cerca posible de éste.

Particularidades en los elevadores de una sola caña

Los elevadores de una sola caña pueden considerarse como un único volumen, es decir, un recipiente alargado o tubería, en la que se determinará el área de venteo, dividiendo el volumen de la en secciones (la relación longitud/diámetro (L/D) de cada sección será < 10). Cada sección se considerará un volumen a proteger y se calculará el área de venteo de cada sección conforme a la UNE-EN 14491.

Determinación de la presión reducida de explosión

La presión reducida de explosión se puede determinar con la siguiente tabla, a partir de la distancia entre paneles y el valor de $K_{m\acute{a}x}$ del producto. La resistencia del elevador deberá ser adecuada para soportar la P_{red} estimada.



Otras consideraciones en el uso de paneles de venteo

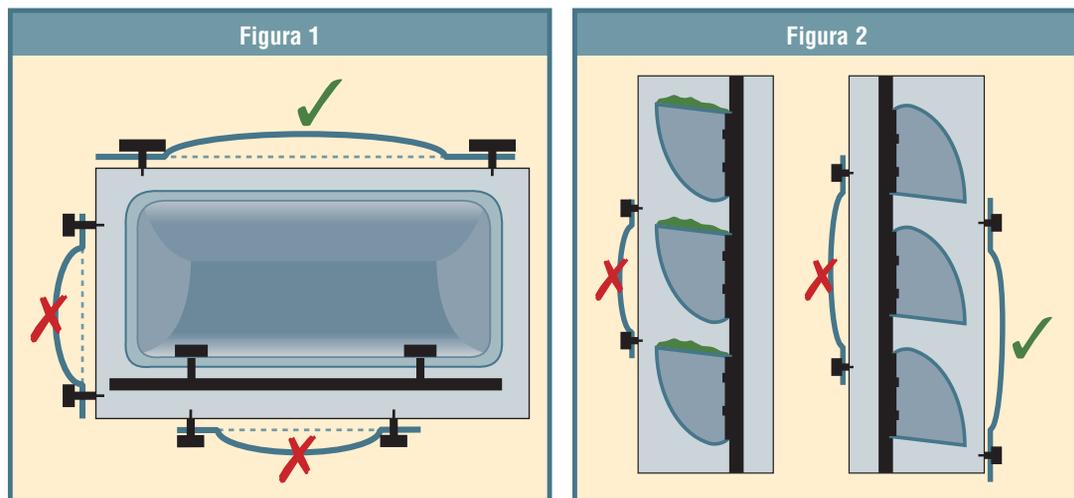
$K_{m\acute{a}x}$ (bar. m/s)	Distancia entre paneles	P_{stat} Presión apertura paneles	P_{red} Presión reducida de explosión
≤ 100	menor o igual a 4 m	< 100 mbarg	200 mbarg
101 a 150	de 4 a 6 m	< 100 mbarg	300 mbarg
151 a 180	máximo 6 m	< 100 mbarg	800 mbarg
181 a 210	máximo 6 m	< 100 mbarg	900 mbarg

La correcta ubicación de los paneles asegura el buen funcionamiento de la técnica de venteo, por ello, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- **Ubicación de los paneles de venteos en las cañas**

La instalación debe realizarse de forma lateral y exterior a pared de la caña y en su longitud máxima (Fig. 1). El panel de venteo alcanzará una longitud superior a dos cangilones y deberá orientarse hacia el exterior (Fig. 2), de forma que la banda no tape el venteo.

- **Criterios para la disposición del venteo en la cabeza del elevador**



El área de venteo se calcula según la norma UNE-EN14991.

En la ubicación del venteo debemos considerar: la posible abrasión del producto sobre el panel, ya que el producto golpeará al panel y provocará su rotura prematura. Si para evitarlo se decide levantar el panel y así reducir los impactos, se debe considerar el riesgo de que el producto salga del elevador y caiga verticalmente, causando pérdida de productividad y sobrellenado del pie.





Trayectoria del producto en la cabeza al elevador.

Por ello, es recomendable la ubicación de los venteos a la entrada o lateralmente a la salida de la cabeza.

- **Elevadores en el interior de edificios**

En el caso de que el elevador se encuentre en el interior de edificios, el venteo no es posible por los efectos colaterales que derivarían de una explosión como fuego, alcance a personas e instalaciones.

- **Conductos de venteo**

Para elevadores ubicados en el interior se pueden utilizar conductos de venteo de menos de 1 metro de longitud, sin tener que modificar el área de venteo o la distancia entre paneles.

- **Venteo sin llamas**

Otra posibilidad para instalaciones interiores, en las que no pueden utilizarse conductos de venteo al exterior, es el uso de venteo sin llamas, es decir ventear a través de un dispositivo de apagallamas.



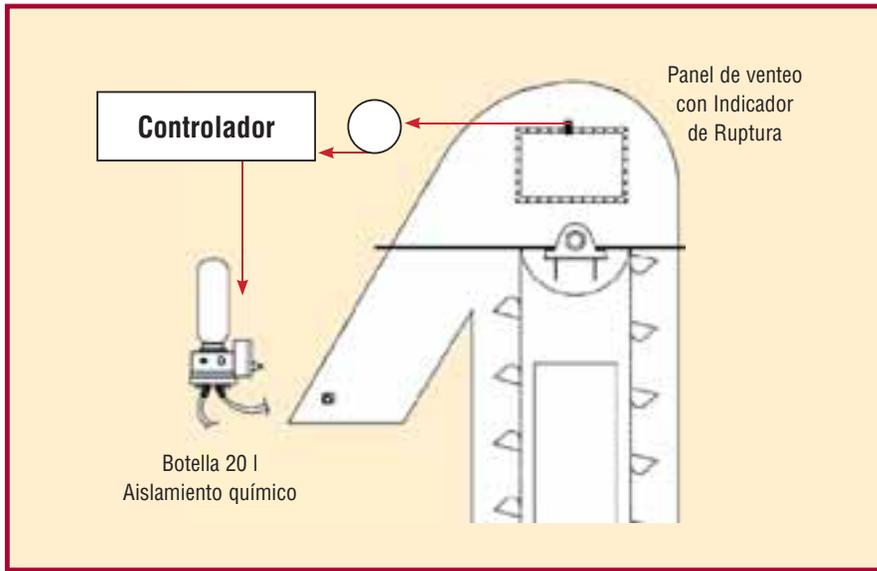
Venteo sin llama.

7.4.2. Nivel medio: venteo y aislamiento químico

Control del riesgo de propagación de la explosión

Siempre existe riesgo de propagación de la explosión a través de los conductos a los equipos conectados con el elevador, los equipos deben estar adecuadamente protegidos (venteo, supresión, etc.), mediante sistemas de aislamiento químico o mecánico en las tuberías.





7.4.3. Nivel máximo: supresión y aislamiento químico

Este sistema se basa en la supresión de la explosión mediante la detección incipiente de la misma, por incremento de presión.

Esta técnica minimiza las consecuencias del accidente, así como los daños sufridos en el elevador, y reduce el tiempo de parada.



Protección del pie del elevador.

Elevador de cangilones protegido con supresión y aislamiento químico.



Su utilización se recomienda para aquellos equipos en los que no pueden parar por periodos prolongados, (por ejemplo en las plantas de tratamiento de residuos, los procesos que trabajan en continuo y de cuya producción depende la alimentación que proporcionan los elevadores).

Ubicación de detectores y equipos de supresión:

La técnica de supresión se aplica en pie y cabeza del elevador (volúmenes más grandes) y la de aislamiento en las cañas del elevador. Por ello, la aplicación habitual es la instalación de un supresor en ambas zonas (cabeza y pie) y otro para el aislamiento en cada caña.

Los detectores de presión se instalarán en cabeza y pie, cuyo objetivo es la detección del frente de presión de la deflagración.

Los detectores ópticos se instalarán en las conducciones de entrada y salida del elevador, con el fin de evitar material incandescente.



8 Capítulo



La prevención y protección de explosiones en silos

XAVIER MARTINO BOFARULL
XAVIER DE GEA RODRÍGUEZ



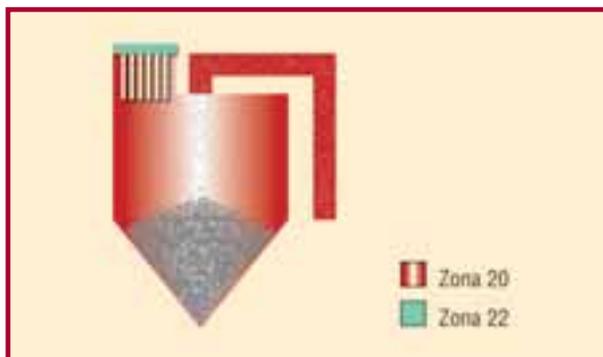
Capítulo

La prevención y protección de explosiones en silos

8.1. Silos

Los silos cumplen la función de almacenamiento vertical de sólidos, que si bien pueden contener productos con un tamaño superior a lo que se considera partícula de polvo (<500 micras), siempre existen «finos» que por su pequeño tamaño se van acumulando en las paredes del silo.

En la figura adjunta, se indica la habitual clasificación de zonas de estos equipos:



8.2. Fuentes de ignición

Deben considerarse:

- **Entrada de partículas incandescentes en los silos.** Durante la operación de llenado de éstos, siempre suele existir polvo en suspensión. Es recomendable la instalación de sistemas de extinción de chispas, cuando preveamos la posibilidad de generación de las mismas.
- **Electricidad estática.** En las operaciones de transporte neumático, el producto fricciona con las tuberías cargándose electrostáticamente, alcanzando la energía suficiente para poder producir la descarga. La prevención se establece a partir de la continuidad eléctrica y puesta a tierra de los silos (trenzas, picas, pintura antiestática, etc).
- **Equipo eléctrico.** Es preciso la adecuación de la categoría del equipo a la clasificación de zonas. Por ejemplo: Los silos suelen disponer de lectores de nivel. Éstos deben ser seleccionados de tal manera que la parte del lector situada en el interior del silo (zona 20) sea categoría 1D y la parte exterior del lector (zona 22) sea 3D.



- **Factor humano.** Es una de las causas más significativas de explosiones, bien sea por desconocimiento o por incumplimiento de normas. Toda instalación con riesgo de explosión (ATEX) debe disponer de estrictos protocolos de trabajo, que aborden desde la limpieza (uso de aire comprimido) a los trabajos en caliente (corte y soldadura). Por ejemplo: Durante las operaciones de soldadura en el interior de un silo, es preciso bloquear el sistema de llenado. Situación que debe quedar garantizada a través de protocolos específicos de trabajos.
- **Incendio.** Al objeto de evitar explosiones en los silos, deben considerarse las medidas de prevención y control de incendios.
- **Explosión en zonas anexas.** Esta ha sido la causa de las mayores catástrofes ocurridas, por ello es importante contemplar técnicas de aislamiento de explosiones. Los silos son los recipientes de mayor volumen de cualquier instalación y de mayor riesgo: por la gran deflagración y por el alud del producto contenido, que puede sepultar al personal de las inmediaciones.

Ref.	Atmósfera explosiva			Fuente de Ignición			Efectividad de la Fuente de Ignición
	Tipo	Frecuencia	Localización	Tipo	Causa	Probabilidad	
1	Nube explosiva de polvo	En operación normal de carga	En el interior del silo	Partículas incandescentes	Fricciones en alguna zona del proceso	Ocasional	ALTA
2	Nube explosiva de polvo	En operación normal de carga	En el interior del silo	Electricidad estática	Discontinuidad eléctrica, pérdida de tierra	Remota	Depende de la sustancia la descarga en brocha suele ser suficiente
3	Nube explosiva de polvo	En operación normal	En el interior del silo	Equipos eléctricos como nivel	Fallo o mala selección	Remota	Suficiente
4	Nube explosiva de polvo	En operación normal	En el interior del silo	Paredes del silo calientes	Soldaduras, corte, incendio, etc...	Ocasional, si no existen protocolos de trabajo	ALTA
5	Nube explosiva de polvo	En caso de explosión	El elevador explota y se propaga	Llamas y presión	Explosión del elevador	Remota	ALTA

Al efectuar la evaluación de riesgo de explosión en un silo, deben considerarse que las características intrínsecas del mismo nos sitúan, a priori, en un nivel A o B. La adopción de las consiguientes medidas de prevención y protección nos situarán en unos niveles de riesgo C o D (ver Anexo A: Metodología de evaluación de riesgo).



Por último, es importante considerar que, la propagación de la deflagración a los silos circundantes o al resto de la instalación, a través de escaleras y galerías **sucias**, pueden ocasionar una gran destrucción. Como medida preventiva básica, ante estas situaciones, es recomendable, por un lado, aislar estas comunicaciones mediante puertas cortafuegos, así como mantener escaleras, galerías y fosos en perfecto estado de limpieza.

8.3. Técnicas de prevención

Hay que considerar las siguientes medidas preventivas:

- **Pintura antiestática** siempre y cuando el valor de la energía mínima de inflamación (EMI) del producto almacenado lo requiera (por ejemplo, valores inferiores a 50 mJ).
- **Silos metálicos** los cuales favorecen la continuidad a tierra de la carga electrostática.
- **Puesta a tierra.**
- **Adecuación de equipos fijos a zonas ATEX:** Los equipos situados en el interior del silo deben ser de categoría 1D y los equipos instalados en el exterior y zona de llenado y descarga pueden ser de categoría 3D.
- **Equipos portátiles en zonas ATEX.** Hay que considerar la adecuación de la categoría del equipo y el grado de protección de la envolvente (resistencia mecánica). Por ejemplo: La iluminación portátil, debe tener las características que permitan estar encendida sin excesiva temperatura superficial y ser resistente al choque, (un golpe del alumbrado portátil contra la pared del silo, pondrá en suspensión el polvo depositado y si se rompe el cristal, el filamento incandescente puede actuar de iniciador de la explosión).
- **Sistema de extinción de chispas** a la entrada del silo.
- **Minimización de la nube de polvo durante el proceso de carga,** mediante sistemas de extracción de polvo o control de la caída del producto.

8.4. Técnicas de protección

Localización del silo, la cual condiciona la técnica de protección.

Características de las sustancias. Considerando su riesgo higiénico y medioambiental.

Resistencia del silo. Condicionada por el techo, su tamaño y forma geométrica.

8.4.1. El venteo de explosiones en silos, consideraciones:

La protección más habitual de un silo es el venteo de explosiones, mediante paneles o puertas de venteo.



TABLA DE SELECCIÓN		
Localización	Técnica	Consejo
Exterior	Venteo	Asegurar la zona de venteo
Interior cerca del exterior	Venteo con conducto	Asegurar la zona de venteo
Interior sin posibilidad de conducción	Venteo con apagallamas	Tener en cuenta la onda expansiva
Interior sin posibilidad de conducción	Supresión de explosiones o venteo seguro	Considerar el externalizar el silo o aislarlo
Sustancia	Técnica	Consejo
Tóxica o peligrosa	Supresión	No utilizar grandes volúmenes
Explosividad elevada	Supresión	No utilizar grandes volúmenes
Resistencia	Técnica	Consejo
Baja	Venteo	Reforzar techo ya que es la parte débil

8.4.1.1. Protección con paneles de venteo contra explosiones

La instalación de paneles de venteo requiere adoptar algunas precauciones, al objeto de evitar la rotura de los mismos. Las más significativas son:

- **Presión máxima de trabajo del panel de venteo.** Los paneles convencionales tienen una presión de ruptura de 100 mbar con tolerancias de +/- 10 mbar y un ratio operativo del 50 %. Ello nos lleva a que la presión máxima de trabajo sea de 45 mbar, es decir, $(100 - 10) \times 0,50$. Por tanto, si trabajamos a más de 45 mbar, fatigaremos mecánicamente el panel y romperá antes de tiempo.
- **Instalación de válvulas de alivio.** Si se considera una presión máxima de trabajo de 45 mbar, la válvula debe tararse a unos 30 mbar, para que abra moderando los picos de presión. Por otro lado, estas válvulas deben estar correctamente dimensionadas al objeto de evacuar los caudales máximos esperados.
- **Ajuste del transporte neumático,** sin superar los valores anteriormente comentados, y, además, evitar los barridos de línea a presiones excesivas. Con este ajuste y con la instalación de la válvula de alivio, debería ser suficiente para evitar la rotura prematura del panel.
- **Control del llenado mediante el compresor del camión de aprovisionamiento.** Debe instalarse una válvula neumática en la línea de llenado, del camión al silo, de tal manera que si se presuriza en exceso el silo, se produzca el cierre de la alimentación, a través del presostato instalado en la parte superior del silo (ver diagrama). Presiones de descarga de 0,8 ó 1,2 bar, del compresor del camión, son suficientes para esta operación, presiones más altas romperán los paneles.



- **Instalación de un nivel de máximo llenado.** El panel de venteo se romperá si se sobrecarga el silo, generando, además, una nube polvo inflamable en el exterior.

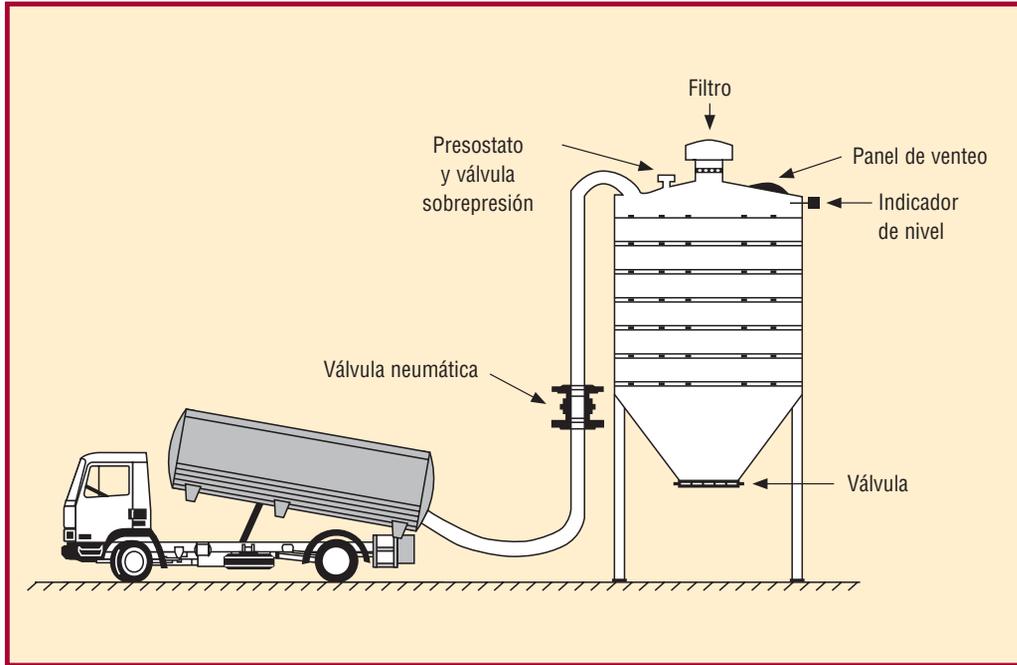


Diagrama (por gentileza de Masanés).

8.4.1.2. Ubicación del venteo contra explosiones

Los criterios básicos a considerar son:

1. Se instalarán en la parte superior del silo.

Los paneles de venteo deben instalarse en la parte alta, la cual está libre de producto.

2. El producto no puede tapan el panel de venteo.

Si el venteo queda cubierto de producto, el panel de venteo no dará el área requerida y al romper por la presión de la deflagración, expulsará polvo generándose una gran bola de fuego. Por ello el lector de nivel debe limitar la altura del producto.

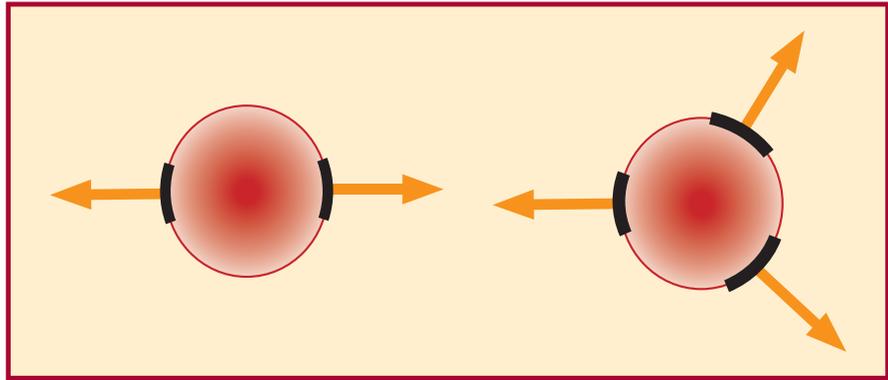
También es aconsejable evitar diseños de bridas que permitan la acumulación de polvo.

3. La instalación lateral de paneles de venteo debe guardar simetría.

El venteo es preferible colocarlo en el techo.

Si se instalan lateralmente, por no tener suficiente espacio en el techo, se recomienda guardar simetría entre los paneles, de tal manera que, en caso de una explosión, las fuerzas de reacción se compensen.





4. Venteo hacia una zona segura.

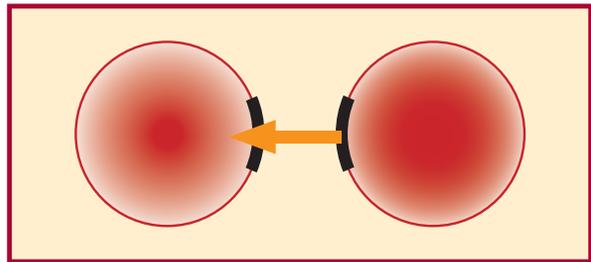
Se debe calcular el alcance de las llamas y asegurar que no exista riesgo para las personas (zonas de paso) y otros equipos e instalaciones.

5. No instalar paneles de venteo frontalmente.

Una explosión en un silo provocará la implosión del silo situado frente al venteo.



Explosión experimental realizada por el profesor Rolík K. Eckhoff y su equipo en silo de 500 m³ en Boge, Vaksdal, Noruega.



6. Protección de caídas a través de los paneles de venteo instalados en el techo.

Es preciso la instalación de barandillas o barras en el interior del orificio de venteo. En este segundo caso, debemos restar el área que ocupan las barras sobre el área efectiva de venteo.

8.4.1.3. El venteo sin llamas

El uso de conductos de venteo es de difícil aplicación en silos, ya que los incrementos de resistencia necesarios son técnicamente difíciles de conseguir.

El venteo a través de un apagallamas provoca el enfriamiento del frente de llamas, y su extinción.

Al tratarse, en este caso, de venteo de sólidos y de grandes volúmenes, se deberá tener en cuenta:

- El volumen máximo de protección que debe aparecer indicado en el certificado ATEX del equipo (venteo con apagallamas). Hay que



considerar la existencia de dispositivos de venteo con apagallamas certificados para pocos m^3 .

- Los límites de $K_{\text{máx}}$, P_{red} .
- Sustancias excluidas para la utilización de esta técnica, (por ejemplo, el azúcar).
- La eficiencia del venteo que, con el uso del apagallamas, se puede ver drásticamente reducida, hasta tan sólo un 25% del área de venteo útil.
- La distancia de seguridad. Aunque el venteo sea «frío» la onda expansiva puede ser perjudicial para las personas o equipos cercanos, y por tanto, debemos exigir al fabricante nos marque estas distancias.
- El posible incendio posterior que se podría producir (en el interior del silo) en función de la sustancia almacenada.

En definitiva, el venteo con apagallamas queda limitado a pequeños recipientes, no siendo aconsejable su empleo en volúmenes elevados. Siendo más seguro y más económico el empleo de sistemas de supresión (a partir volúmenes superiores a 5 m^3).

Por último es importante considerar el venteo hacia galerías de explosión. Éste puede aplicarse como alternativa a los venteos sin llamas en baterías de silos interiores de gran volumen (ya comentada en el capítulo de venteo).

8.4.1.4. La supresión de explosiones en silos, consideraciones

La aplicación de esta técnica es poco frecuente, por su elevado coste y dificultad técnica (la distribución de las bombonas de supresión pueden quedar tapadas por el producto). Su aplicación en volúmenes muy pequeños está desaconsejada debido a que el incremento de presión del nitrógeno propelente puede dañar al recipiente.

En definitiva es una técnica menos utilizada que el venteo, ya que la mayoría de los silos se encuentran en el exterior y su altura normalmente permite el venteo hacia zonas seguras.

8.4.1.5. El aislamiento de explosiones en silos, consideraciones

La técnica de aislamiento de explosiones *desde el silo* no es necesaria, si el venteo de explosiones ha sido dimensionado adecuadamente, se han instalado detectores de ruptura y se produce la parada automática del proceso de llenado.

La técnica de aislamiento de explosiones *hacia el silo* si es necesaria, con métodos similares a los descritos en el capítulo de elevadores de canchales.



9

Capítulo



El Documento de Protección Contra Explosiones

XAVIER MINOVES CASALS



Capítulo

9

El Documento de Protección Contra Explosiones

9.1. El Documento de Protección contra Explosiones (DPCEX)

Son diversas las actividades y en particular las operaciones de almacenamiento, tratamiento, utilización, fabricación y procesamiento que incorporan sólidos combustibles, determinando consecuentemente y con carácter preventivo, la necesidad de realizar un riguroso análisis del control del riesgo.

Esta primera reflexión, por parte del empresario, debe encauzarse a través del denominado «Documento de Protección Contra Explosiones» (DPCEX). El Art. 8, del Real Decreto 681/2003, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo, determina que corresponde al empresario la obligación de que se elabore el DPCEX, antes de que empiece el trabajo y de mantenerlo en todo momento actualizado. Por todo ello, el empresario adoptará las medidas necesarias para que el DPCEX sea revisado en función de las modificaciones, ampliaciones o transformaciones, así como ante los cambios organizativos del trabajo que se produzcan.

El Art. 7, del Real Decreto 681/2003, concreta la necesidad de que el empresario clasifique las zonas de riesgo de explosión. Así mismo, la obligación de clasificación de zonas de riesgo viene, también, determinada por el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión. Debemos referir que el nuevo R.E.B.T – Real Decreto 842/2002, ha comportado cambios importantes en lo referente a emplazamientos Clase II. Todo ello nos sitúa dentro del marco jurídico preventivo e industrial, en la necesidad de que la clasificación de zonas debe ser realizada por profesionales de las organizaciones preventivas, establecidas en el Real Decreto 39/1997, o por especialistas industriales.

El Real Decreto 681/2003 determina, como obligación para el empresario, la disponibilidad de la Evaluación de los Riesgos de Explosión y del Documento de Protección Contra Explosiones.

La rigurosidad del análisis, a la que hacíamos mención al inicio de este apartado, es de tal importancia en lo referente a profesionalidad y objetividad, que irregularidades en este sentido, por defecto, pueden comprometer la seguridad de las personas e instalaciones, y por exceso a la viabilidad de la empresa, en algunos casos, al requerir importantes inversiones económicas.



En definitiva, el DPCEX debe tener como fin presentar un estudio global de las conclusiones de la evaluación de riesgos y de las correspondientes medidas técnicas y organizativas adoptadas para el control de los mismos.

Éste, el DPCEX:

- Debe adaptarse a las condiciones operativas que se presenten en cada situación.
- Su estructura debe facilitar su lectura y su comprensión, debiéndose ser en el idioma del usuario.

Se establece el siguiente proceso operativo para su ejecución:

- Si la instalación es nueva:
 - Clasificación de zonas (RD 681/2003 – Anexo I).
 - Elaboración del Documento de Protección Contra Explosiones (Antes de la puesta en marcha).
 - Medidas técnicas / organizativas (RD 681/2003. Anexo II-parte A).
 - Elección de los Aparatos (Categoría 1 – 2 – 3).
 - Revisión del DPCEX, siempre que proceda
- Instalación existente:
 - Clasificación, si procede, de las zonas (RD 681/2003 – Anexo I).
 - Elaboración del Documento de Protección Contra Explosiones (Desde 01.07.06).
 - Medidas técnicas / organizativas (RD 681/2003. Anexo II-parte A).
 - Adecuación y/o elección de los Aparatos (Categoría 1 – 2 – 3).
 - Revisión del DPCEX, siempre que proceda.

Hasta aquí situar el compromiso y la responsabilidad que asume el empresario en la necesidad de la realización del DPCEX, avalado por la importancia y trascendencia que ello supone, significando además, que el logro de los objetivos queda condicionado a la participación y compromiso de todo el personal de la empresa, que deberá estar informado y formado en las consideraciones específicas que les afecten.

9.2. Estructura de Documento de Protección Contra Explosiones

La realización del Documento se ampara en el Art.8, del R.D. 681/2003, en el que se establece que deberá reflejar el cumplimiento, en concreto, de:

- a) Que se han determinado y evaluado los Riesgos de Explosión.
- b) Que se tomarán las medidas adecuadas para lograr los objetivos de éste Real Decreto.
- c) Que las Áreas han sido clasificadas en zonas según el Anexo I de éste Real Decreto.
- d) Las áreas en que se aplicarán los requisitos mínimos establecidos en el Anexo II.



- 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, de conformidad con el R.D. 1215/1997, para que los equipos de trabajo se utilicen en condiciones seguras.

Así, pues, la materialización del DPCEX requiere el cumplimiento de los siguientes puntos:

1. Se procederá al estudio de la «**Clasificación de Áreas con Riesgo de Explosión**», según el Anexo I del R.D. 681/2003.
2. Determinadas las áreas de riesgo y la extensión de las mismas, se procederá a la realización de la «**Evaluación de Riesgo de Explosión**», evaluándose la probabilidad de explosión por existencia de atmósfera explosiva y la probabilidad de la existencia de fuentes de ignición, procediéndose a planificar las medidas correspondientes.
3. Se procederá a la señalización de las áreas de riesgo de explosión (Art. 7.3 y Anexo III del R.D. 681/2003).
4. Se comprobará el cumplimiento del:
 - **Apartado A del Anexo II – R.D. 681/2003.**
«Disposiciones mínimas destinadas a mejorar la seguridad y la protección de la salud de los trabajadores potencialmente expuestos a atmósferas explosivas».
 - **Apartado B del Anexo II – R.D. 681/2003**
«Criterios para la elección de los aparatos y sistemas de protección»
5. Se comprobará el **cumplimiento del R.D. 1215/1997** «Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización de los equipos de trabajo empleados por los trabajadores en el trabajo».
6. Además, se concretarán las **medidas de prevención y protección contra explosiones** correspondientes y se procederá, en su caso, a la **coordinación de las medidas preventivas**.

Con los criterios antes referidos la estructura tipo de un DPCEX sería:

1. INTRODUCCIÓN
(Justificación legal)
2. IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA
(Datos de la Empresa / Centros de trabajo.)
3. OBJETO DE DPCEX
(Cumplimiento al R.D. 681/2003)
4. CRITERIOS DE REFERENCIA
(Criterios legales y técnicos de amparo del Documento)
5. DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA
6. RESPONSABILIDADES
7. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA
(Actividad / sectores de actividad - ubicación de la empresa)



8. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS Y ACTIVIDADES
(Descripción de las instalaciones, diagrama de flujo, identificación de equipos, descripción del proceso, arranque y parada, identificación de sustancias / condiciones de utilización, tipo y envergadura de los trabajos de limpieza, ventilación local, etc.)
9. EVALUACIÓN DE RIESGOS DERIVADOS DE LA PRESENCIA DE ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS
(Metodología de evaluación / presentación de resultados)
10. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN
(Medidas de prevención de atmósferas explosivas / fuentes de ignición / limitación de los efectos de explosión / control de procesos / medidas organizativas (instrucciones de servicio / cualificación de los trabajadores / formación / utilización de equipos / permisos de trabajo / trabajos de mantenimiento) – clasificación de zonas – realización de medidas de prevención y protección (persona responsable de la aplicación de la medida) – selección, mantenimiento e inspección de equipos - implantación, seguimiento y control).
11. COORDINACIÓN DE MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES
(Cumplimiento del Art. 6 del R.D. 681/2003 - Procedimiento de coordinación de actividades)
12. ANEXOS
 1. Evaluación de Riesgos derivados de la presencia de ATEX.
 2. Medidas de prevención y protección.
 3. Clasificación en zonas.
 4. Requisitos mínimos de los equipos de trabajo, (E.T.).
 5. Cumplimiento de los requisitos mínimos de los E.T.
 6. Criterios para el mantenimiento de los E.T.
 7. Coordinación de actividades empresariales.
 8. Permisos de trabajo.
 9. Instrucciones de trabajo.
 10. Planes de formación.

A modo de ejemplo, se adjunta en el Anexo H modelo-guía para la elaboración del Documento de Protección Contra Explosiones.

Es de significar la conveniencia de realizar, previo a la elaboración del DPCEX, un análisis de las condiciones de la empresa, a través de una hoja de campo que nos permita la identificación inicial de los riesgos de explosión, y, en su caso, poder así abordar la realización del «Documento» con mayor objetividad.

En el Anexo F se adjunta un modelo de «Ficha de Análisis de Riesgos derivados de Atmósferas Explosivas», que puede servir como referencia.

Como conclusión, en las actividades que presenten riesgo de atmósferas explosivas, la disponibilidad y aplicación del «Documento de Protección Contra Explosiones», es una necesidad, obligación y compromiso del empresario, y de todo el personal de la empresa cuyo objetivo es la seguridad de las personas e instalaciones.



Anexos



Anexo A

Anexo B

Anexo C

Anexo D

Anexo E

Anexo F

Anexo G

Anexo H



Anexo A

Metodología de evaluación del riesgo

Pasos para la valoración del riesgo:

- **Análisis del riesgo:**
 1. Determinación del funcionamiento del equipo.
 2. Identificación de los peligros.
 3. Estimación de las consecuencias y de la probabilidad.
- **Evaluación del nivel de riesgo.**
- **Reducción del riesgo.**

1. Determinar y entender el funcionamiento del equipo:

- Descripción del equipo.
- Análisis del funcionamiento y componentes del equipo.
- Características de los productos e interacción de los mismos en los equipos y procesos.
- Funcionamiento (diagramas de flujo).

2. Identificación de los peligros:

El accidente se debe a un fallo, ya sea por falta o inadecuación de medidas técnicas (prevención y protección) u organizativas.

Consecuentemente un equipo podrá tener valoración de riesgo **aceptable**, si se cumplen las consideraciones antes mencionadas.



Deben identificarse las posibles fuentes de ignición del equipo:

Fuentes de ignición		
Naturaleza	Relevante (SÍ / NO)	Significante (SÍ / NO)
Superficie caliente		
Llamas y gases calientes (incluidas partículas)		
Chispas por fricción mecánica		
Equipos eléctricos		
Corrientes eléctricas, corrosión catódica		
Electricidad estática		
Descarga en corona		
Descarga en brocha		
Descarga de Propagación en brocha		
Descarga en cono		
Descarga en chispa		
Rayo		
Ondas de radiofrecuencia de 10 ⁴ Hz a 10 ¹² Hz		
Ondas electromagnéticas de 3 x 10 ¹¹ Hz a 10 ¹⁵ Hz		
Radiación ionizante		
Ondas de choque por compresión adiabática		
Reacción exotérmica incluyendo auto combustión		

Fuente: EN 1127.

Ejemplo:

Ref.	Atmósfera explosiva			Fuente de Ignición			Efectividad de la Fuente de Ignición
	Tipo	Frecuencia	Localización	Tipo	Causa	Probabilidad	
1	Nube explosiva de polvo de azúcar	En operación normal	En el interior del elevador de cangilones	Chispas por fricción en el elevador	Cangilón rozando en el cuerpo del elevador	Ocasional en operación normal	Baja debido a la baja velocidad del elevador
Etc...							

3. Estimación de las consecuencias y de la probabilidad del riesgo:

El riesgo, en términos de explosión, se fundamenta en dos elementos: la severidad del posible daño y la probabilidad que ocurra.

El riesgo podrá calificarse, por ejemplo:

1. Cualitativamente en Alto, Medio, Bajo ó Intolerable, Tolerable, Aceptable.
2. Cuantitativamente por frecuencia o probabilidad de que ocurra en Permanente, Probable, Ocasional, Remota, Improbable.
3. La severidad de la explosión en Catastrófica, Mayor, Menor, Despreciable.



Su combinación nos da 4 niveles de riesgo: A, B, C, D, de mayor a menor riesgo.

SEVERIDAD	Explicación
CATASTRÓFICA	Muerte o pérdida irreversible del equipo
MAYOR	Heridas graves, daños graves en equipo
MENOR	Heridas leves , daños leves en el equipo
DESPRECIABLE	Daños menores no relevantes

Frecuencia	En la vida útil del equipo
Permanente	Con suma frecuencia
Probable	Normalmente
Ocasional	Algunas veces
Remota	Raramente pero es posible que ocurra
Improbable	No se espera que pase

NIVELES DE RIESGO

Frecuencia	Severidad			
	CATASTRÓFICA	MAYOR	MENOR	DESPRECIABLE
Permanente	A	A	A	C
Probable	A	A	B	C
Ocasional	A	B	B	D
Remota	A	B	C	D
Improbable	B	C	C	D

- **Niveles de riesgo:**

Atendiendo a los indicadores en las tablas pueden describirse como:

Intolerable: (A) En este nivel de riesgo se han de tomar medidas de seguridad con la finalidad de reducir el mismo.

Aceptable: (D) En este nivel de riesgo no es necesario, a priori, tomar ninguna medida adicional.

Los niveles de riesgo **B** y **C** son niveles intermedios que requieren medidas de reducción.

La implantación de medidas preventivas debe reducir el nivel de riesgo, moviéndonos en esta tabla hacia el nivel de riesgo D, en el que se considera que la situación está controlada.



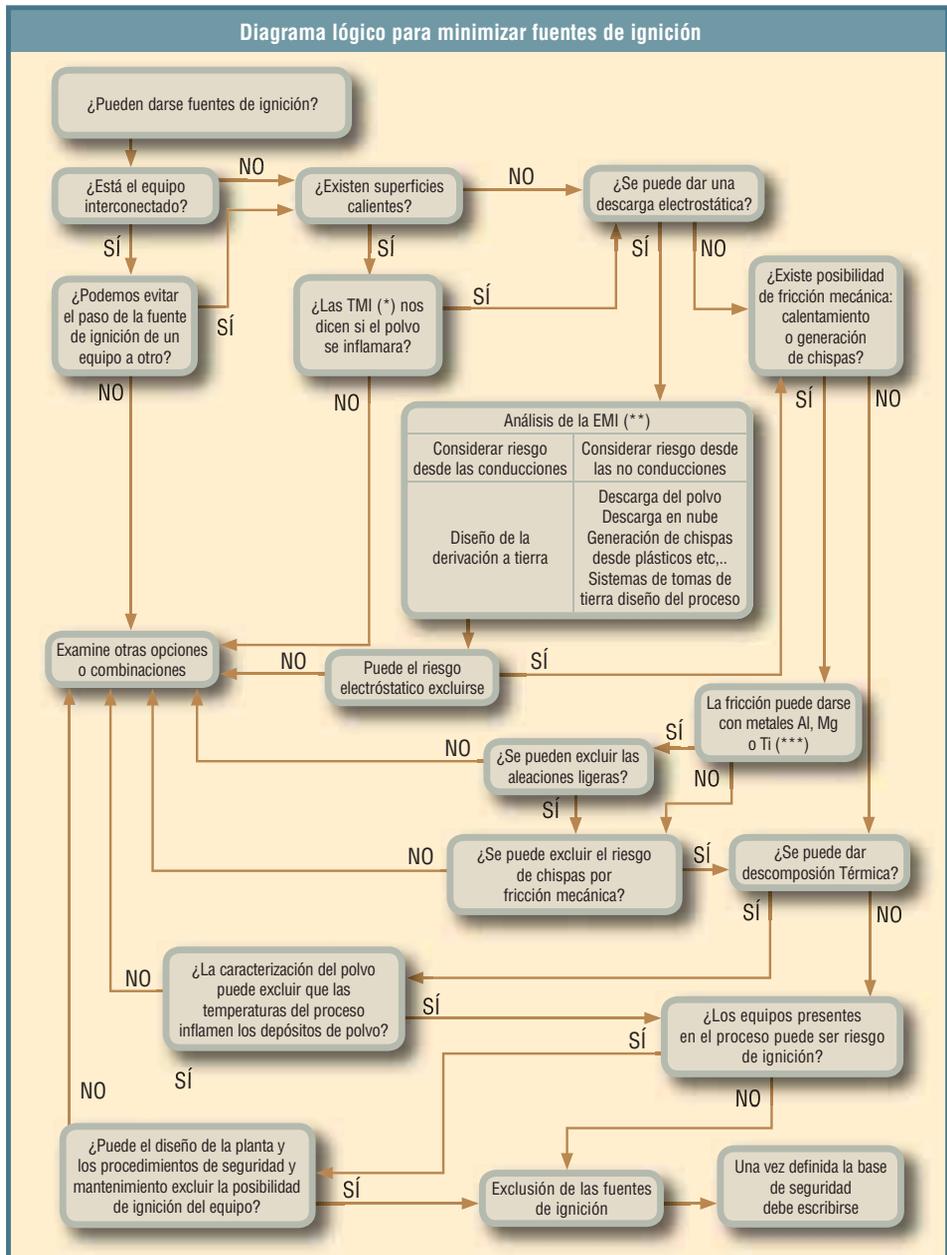
• **Reducción del RIESGO:**

El primer paso a considerar en la reducción del riesgo, es verificar si las medidas adoptadas son suficientes para alcanzar un nivel tolerable.

Hay que remarcar que la eliminación de un riesgo es siempre mejor que su protección.

En definitiva, las medidas preventivas deben ser complementadas mediante el mantenimiento de los equipos y los protocolos de trabajo.

Se debe considerar, también, el coste y la eficiencia de las diferentes opciones y la influencia que éstas puedan tener sobre: inversión, productividad, eficiencia energética, costes de mantenimiento y otros costes operacionales.



Anexo B

Modelo Permiso de trabajo en zonas ATEX

N.º

Localización y descripción de los trabajos:

.....

.....

Solicitante del permiso: Firma:

Nombre de los operarios: / /

Firma de los operarios: / /

FECHA:/...../..... Hora inicio: Hora finalización:

Permiso autorizado por: Firma:.....

ANÁLISIS DE RIESGOS:			
<input type="checkbox"/> Soldadura y corte	<input type="checkbox"/> PQ Corrosivos	<input type="checkbox"/> Electricidad / AT	<input type="checkbox"/> Ruido
<input type="checkbox"/> Caídas > 2 m	<input type="checkbox"/> Gases/ Vapores tóxicos	<input type="checkbox"/> Proyec. Partículas	<input type="checkbox"/> Otros
<input type="checkbox"/> PQ Inflamables	<input type="checkbox"/> Presión / Temperatura	<input type="checkbox"/> Explosión	
<input type="checkbox"/> PQ Tóxicos	<input type="checkbox"/> Cortes	<input type="checkbox"/> Incendio	
Nombre Producto Químico			

EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL A UTILIZAR:	EXTINCIÓN INCENDIOS:
<input type="checkbox"/> Anticaídas (arnés, cinturón)	<input type="checkbox"/> Cabeza (cascos)
<input type="checkbox"/> Respiratoria (mascarillas, filtros, respiración autónoma)	<input type="checkbox"/> Pies (Calzado de Seguridad)
<input type="checkbox"/> Traje estancos para gases / PQ	<input type="checkbox"/> Ojos (gafas, pantallas faciales)
<input type="checkbox"/> Mandil	<input type="checkbox"/> Careta soldador
<input type="checkbox"/> Manos (guantes)	<input type="checkbox"/> Auditivo (tapones, orejeras)
	<input type="checkbox"/> Otros:
	<input type="checkbox"/> Boca Incendio Equipada
	<input type="checkbox"/> Extintor Polvo ABC
	<input type="checkbox"/> Extintor CO ₂
	<input type="checkbox"/> Extintor Agua
	<input type="checkbox"/> Extintor Espuma
	<input type="checkbox"/> Mantas ignífugas



REVISIONES DE SEGURIDAD:

ZONA CLASIFICADA: GAS: 0 / 1 / 2 ; POLVO: 20 / 21 / 22

	SI	NO	NP
Está informado el Responsable de Seguridad			
El personal de trabajos está suficientemente formado, preparado e informado sobre los riesgos ATEX			
Todos los equipos instalados en la zona están desconectados y bloqueados (eléctrica y mecánicamente)			
Se consideran riesgos en áreas adyacentes			
Los trabajos se realizan en espacio confinado (en caso afirmativo, cumplir permiso específico)			
Los trabajos se realizan en altura (en caso afirmativo, cumplir permiso específico)			
El personal de trabajos utiliza adecuadamente los EPIs			
Los equipos de extinción son adecuados y están en perfecto estado			
El equipo y herramientas a utilizar son adecuados a la zona. (marcados 1,2,3 D/G)			
El método de limpieza es el adecuado(gases: ventilación; polvo: aspiración o manual)			
Se dispone de autorización para utilización de aire comprimido en operaciones de limpieza			

Instrucciones complementarias:

.....

.....

.....

Retorno a la actividad normal tras finalización del trabajo				
Revisión área de Trabajo	Revisión 30 minutos	Revisión 2 horas	Persona que realiza la revisión	Observaciones
Hora	Hora	Hora	Nombre:	

Autorizado por: Firma:



Anexo C

Modelo Permiso de corte y soldadura

N.º

Localización y descripción de los trabajos:

.....

.....

Solicitante del permiso: Firma:

Nombre de los operarios: / /

Firma de los operarios: / /

FECHA:/...../..... Hora inicio: Hora finalización:

Permiso autorizado por: Firma:.....

ANÁLISIS DE RIESGOS:			
<input type="checkbox"/> Caídas > 2 m	<input type="checkbox"/> Gases/ Vapores tóxicos	<input type="checkbox"/> Proyec. Partículas	<input type="checkbox"/> Otros
<input type="checkbox"/> PQ Inflamables	<input type="checkbox"/> Presión / Temperatura	<input type="checkbox"/> Explosión	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> PQ Tóxicos	<input type="checkbox"/> Cortes	<input type="checkbox"/> Incendio	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> PQ Corrosivos	<input type="checkbox"/> Electricidad / AT	<input type="checkbox"/> Ruido	<input type="checkbox"/>
Nombre Producto Químico			

EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL A UTILIZAR:	EXTINCIÓN INCENDIOS:
<input type="checkbox"/> Anticaídas (arnés, cinturón)	<input type="checkbox"/> Cabeza (cascos)
<input type="checkbox"/> Respiratoria (mascarillas, filtros, respiración autónoma)	<input type="checkbox"/> Pies (Calzado de Seguridad)
<input type="checkbox"/> Traje estancos para gases / PQ	<input type="checkbox"/> Ojos (gafas, pantallas faciales)
<input type="checkbox"/> Mandil	<input type="checkbox"/> Careta soldador
<input type="checkbox"/> Manos (guantes)	<input type="checkbox"/> Auditivo (tapones, orejeras)
	<input type="checkbox"/> Otros:
	<input type="checkbox"/> Boca Incendio Equipada
	<input type="checkbox"/> Extintor Polvo ABC
	<input type="checkbox"/> Extintor CO ₂
	<input type="checkbox"/> Extintor Agua
	<input type="checkbox"/> Extintor Espuma
	<input type="checkbox"/> Mantas ignífugas

¿Es posible realizar el trabajo en el taller? Sí No

Si es posible, desmontar y llevar equipo al taller



El responsable de los trabajos y el que autoriza, inspeccionan la zona de trabajo, y antes de iniciar los trabajos realizan las siguientes comprobaciones:

REVISIONES DE SEGURIDAD:

	SI	NO	NP
Está informado el Responsable de Seguridad			
El personal de trabajos está suficientemente formado, preparado e informado sobre los riesgos			
Está señalizada la zona			
El área de trabajo está debidamente aislada (lonas, mantas, pantallas, etc., ...) en un radio de 10 m			
Todos los equipos instalados en la zona están desconectados y bloqueados (eléctrica y mecánicamente)			
Se consideran riesgos en áreas adyacentes			
Los trabajos se realizan en espacio confinado (en caso afirmativo, cumplir permiso específico)			
Los trabajos se realizan en altura (en caso afirmativo, cumplir permiso específico)			
El área de trabajo está limpia de productos inflamables o combustibles			
El equipo en el que se va a trabajar está limpio exterior e interiormente			
El personal de trabajos utiliza adecuadamente los EPIs			
Los equipos de extinción son adecuados y están en perfecto estado			
El equipo a utilizar está en perfecto estado (soldadura, radial, etc., ...)			
La iluminación es suficiente			

Instrucciones complementarias:

.....

.....

.....

Retorno a la actividad normal tras finalización del trabajo				
Revisión área de Trabajo	Revisión 30 minutos	Revisión 2 horas	Persona que realiza la revisión	Observaciones
Hora	Hora	Hora		
			Nombre:	

Autorizado por: Firma:



Anexo D

Modelo Control programa de limpieza

Situación y equipos	Método de limpieza	Responsable	Frecuencia de limpieza	Registro de Inspección	
				Fecha de limpieza	Observaciones



Anexo E

Modelo Señalización de trabajos especiales

ATENCIÓN

TRABAJOS EN CALIENTE EN CURSO RIESGO DE EXPLOSIÓN

En caso de observar cualquier anomalía

Llamar a:

Tel.:

Localizado en:



Anexo F

Ficha ATEX



Modelo de referencia para:
**ANÁLISIS DE RIESGOS DERIVADOS
 DE ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS-R.D. 681/2003 (ATEX)**

DATOS IDENTIFICATIVOS

EMPRESA:	CENTRO DE TRABAJO:
FECHA DEL INFORME:	Ref:

DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACION

FORMACIÓN DE ATMÓSFERA EXPLOSIVA Y PRESENCIA DE FOCOS DE IGNICIÓN

1. PRESENCIA DE SUSTANCIAS INFLAMABLES	SÍ	NO	INDICACIONES
1.1. Gases y mezclas de gases inflamables			
1.2. Líquidos inflamables			
1.3. Polvos de sólidos inflamables			
2. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS	SÍ	NO	INDICACIONES
2.1. Hay zonas con presencia permanente de gases y/o vapores inflamables			
2.2. Hay zonas con presencia ocasional de gases y/o vapores inflamables			
2.3. Hay zonas con presencia esporádica de gases y/o vapores inflamables			
2.4. Hay zonas con presencia permanente de polvos y/o fibras combustibles			
2.5. Hay zonas con presencia ocasional de polvos y/o fibras combustibles			
2.6. Hay zonas con presencia esporádica de polvos y/o fibras combustibles			
3. GRADO DE ESCAPE	SÍ	NO	INDICACIONES
3.1. Continuo: durante largos períodos			
3.2. Primario: periódica u ocasionalmente en funcionamiento normal			
3.3. Secundario: no previsible en funcionamiento normal; si se produce, infrecuente y períodos cortos			
4. FOCOS DE IGNICIÓN PREVISIBLES	SÍ	NO	INDICACIONES
4.1. Superficies calientes (hornos, calefacciones, tuberías, lubricación insuficiente).			
4.2. Llamas desnudas (operaciones de soldadura, sopletes, colillas,...).			
4.3. Operaciones de fricción, choque y/o abrasión (uso de radial, esmeril, taladro,...).			
4.4. Instalaciones y material eléctrico.			
4.5. Descargas electrostáticas por superficies conductoras, rayos, arcos eléctricos, corrientes parásitas.			
4.6. Otros : (Ondas electromagnéticas, radiaciones, ultrasonidos, ondas de radiofrecuencias, reacciones químicas, etc.)			



MEDIDAS PREVENTIVAS				
1. PREVENCIÓN DE FORMACION DE ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS	SÍ	NO	NP	INDICACIONES
1.1. Se está estudiando la posibilidad de sustitución del producto				
1.2. En el caso del polvo, se recurre a la humectación del mismo				
1.3. Se limita la concentración de gases mediante ventilación				
1.4. Se limita la concentración de polvo mediante aspiración				
1.5. Se recurre a gases inertes para limitar la concentración de oxígeno				
1.6. Otros:				
2. MEDIDAS ORGANIZATIVAS	SÍ	NO	NP	INDICACIONES
2.1. Existe un programa documentado de mantenimiento y limpieza.				
2.2. Se han definido permisos de trabajo para operaciones con riesgo.				
2.3. Se ha formado e informado a los trabajadores sobre el riesgo de explosión.				
2.4. Los trabajadores que operan en la zona, disponen de la cualificación necesaria.				
2.5. Hay procedimiento de coordinación, supervisión y vigilancia de los trabajos.				
2.6. Se han identificado y señalizado las zonas de riesgo.				
3. MEDIDAS TÉCNICAS	SÍ	NO	NP	INDICACIONES
3.1. Los objetos e instalaciones conductoras están puestas a tierra.				
3.2. Se emplea calzado adecuado en función del revestimiento del suelo.				
3.3. Instalaciones eléctricas conformes a la normativa.				
3.4. Se ha efectuado un análisis de la conformidad de los equipos de trabajo para la atmósfera en la que trabajan				
3.5. Se protegen y apantallan las superficies calientes y llamas desnudas existentes.				

CONCLUSIONES
<p align="center">NIVEL DE RIESGO DE FORMACIÓN DE ATMÓSFERA EXPLOSIVA</p> <p>() Bajo. El riesgo de formación de atmósferas explosivas está controlado, siempre que se mantengan las circunstancias analizadas en este informe.</p> <p>() Medio. Aunque existen medidas de control, el riesgo de aparición de atmósferas explosivas está presente en condiciones normales de actividad.</p> <p>() Alto. Hay un riesgo elevado de aparición de atmósferas explosivas peligrosas en las condiciones actuales de actividad.</p>
<p align="center">NIVEL DE RIESGO DE ACTIVACIÓN DE FOCOS DE IGNICIÓN</p> <p>() Bajo. El riesgo de existencia y activación de focos de ignición en las zonas clasificadas está controlado.</p> <p>() Medio. En las zonas clasificadas pueden aparecer focos de ignición no controlados de forma ocasional.</p> <p>() Alto. Hay un riesgo elevado de aparición de focos de ignición en las zonas clasificadas.</p>
<p align="center">CUMPLIMIENTO DEL R.D. 681/2003</p> <p>() Se debe elaborar el documento de protección contra explosiones, salvo que el proyectista haya justificado la inexistencia del correspondiente riesgo. Hasta la redacción del mismo se deberán adoptar las medidas preventivas contenidas en el informe con ref.: con objeto de minimizar la creación de atmósferas explosivas o la aparición de focos de ignición, la adopción de estas medidas parciales no sustituye, en el caso que fuera necesario, la elaboración del documento de protección contra explosiones.</p> <p>() Se deberán mantener las medidas preventivas actuales indicadas en el documento de protección frente a explosiones existente en la empresa.</p> <p>() Implantar las medidas preventivas existentes en el documento de protección frente a explosiones existente en la empresa.</p> <p>() Las conclusiones del presente informe se integran totalmente en el documento de evaluación de riesgos con ref.:.....</p>
<p align="center">OBSERVACIONES</p>

VALORACIÓN: () BIEN () ACEPTABLE () DEFICIENTE () MUY DEFICIENTE

SE ADJUNTAN MEDIDAS PREVENTIVAS: SI NO



Anexo G

Tablas de explosividad

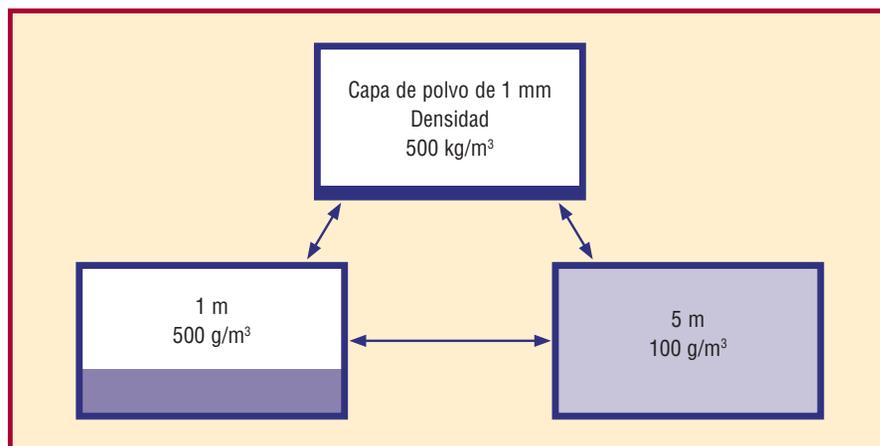
Se adjunta, a modo orientativo, una tabla de explosividad de diferentes productos, en las que se indican los parámetros que se describen a continuación. (Cada parámetro ha sido descrito en el capítulo 1).

CME

Se representa en g/m^3 y suelen estar comprendidos entre 15 g/m^3 a 100 g/m^3 .

Proporciona el criterio sobre dónde existen posibilidades de formación de ATEX. Estas concentraciones nos ayudan a determinar las zonas 20, 21 ó 22.

Si aplicamos la norma VDI 2263:



CLO

Se representa en % en volumen, (8 al 15 % de oxígeno). Este valor nos permite determinar en caso de inertizar que concentración de O_2 debemos alcanzar. Se recomienda inertizar al menos un 2% por debajo del valor indicado.

EMI

Se representa en mJ y nos da la idea de qué fuentes de ignición son capaces de iniciar la explosión, en sólidos acostumbra a ser desde 1 mJ a 1000 mJ.

El aspecto más relevante relacionado con la EMI, es la electricidad estática generada en la mayoría de los sólidos durante su transporte.



Temperatura

Es un valor muy importante que se debe tener en cuenta en procesos de transferencia de calor. Por ejemplo en los procesos de secado cuando la sustancia está suficientemente seca y se supera la T_{Min} ó T_{Mic} , se inflamará, pudiendo incluso llegar a explotar.

T_{Min}

Se representa en °C y nos condiciona la temperatura superficial (T_s) de los equipos. Se recomienda el empleo de equipos que tengan una T_s inferior a 2/3 de la T_{Min} .

T_{Mic}

Se representa en °C y nos condiciona la T_s de los equipos. Se recomienda el empleo de equipos que tengan una T_s inferior a 75 °C por debajo de la T_{Mic} .

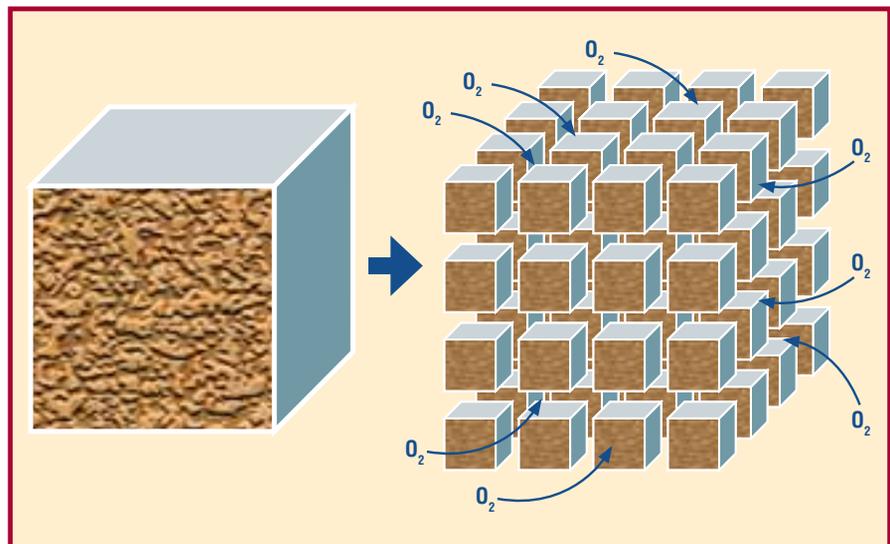
Por ello, en la selección de los equipos en contacto con polvo, se recomienda el empleo del menor valor de: 2/3 T_{Min} ó $T_{Mic} - 75$ °C.

$K_{m\acute{a}x}$

Se expresa en bar m/s y nos da una idea de a qué velocidad reacciona una sustancia, siendo un valor más elevado sinónimo de mayor riesgo. Este valor se ha empleado tradicionalmente para seleccionar la peligrosidad de los productos:

- St-1 hasta 199 bar m/s
- St-2 de 200 a 299 bar m/s
- St-3 más de 300 bar m/s

El valor de la $K_{m\acute{a}x}$ es crítico a la hora de diseñar un sistema de venteo, ya que a mayor $K_{m\acute{a}x}$ mayor área de venteo o menor presión de activación del venteo (P_{stat}).

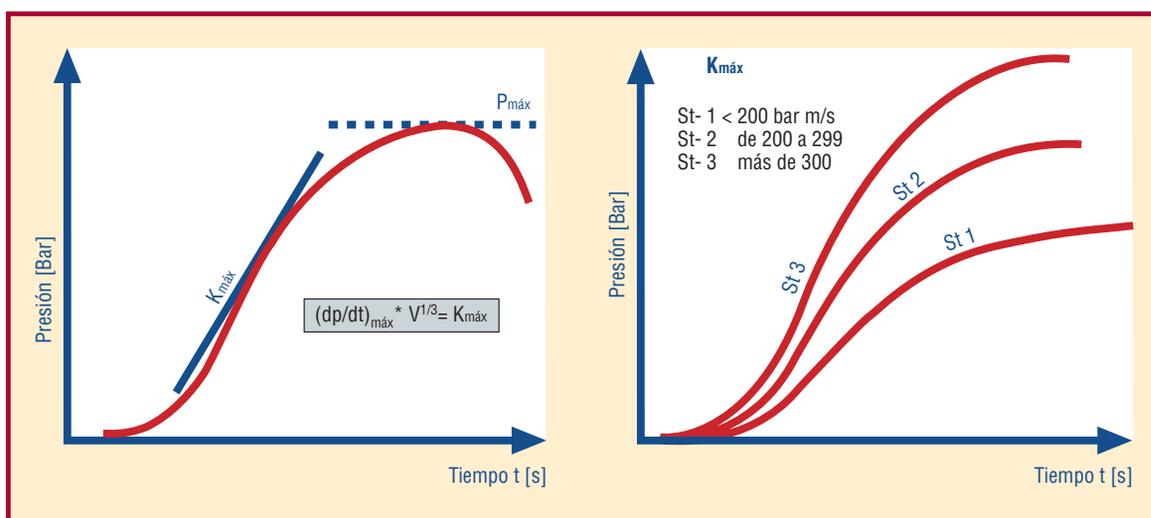


En la determinación de este parámetro es importante considerar que una disminución del tamaño de partícula favorece su oxidación y también su suspensión, por ello, sustancias más secas o de menor tamaño son más peligrosas, tales como las procedentes de una molienda o las de una pulidora.

$P_{m\acute{a}x}$

Se expresa en bar. Representa sobrepresión por encima de la atmósfera, siendo valores habituales los comprendidos entre 5 y 12 bar. Estos valores nos permiten el diseño de recipientes resistentes a la explosión, (se recomienda que la Presión de diseño del recipiente sea $P_{m\acute{a}x} + 2$ bar).

$P_{m\acute{a}x}$ condiciona el diseño de las protecciones pasivas (mayor $P_{m\acute{a}x}$, más área de venteo).



IMPORTANTE:

Según la norma UNE-EN 1127-1 sobre la utilización de datos procedentes de tablas se debe considerar que:

«Para los polvos, las tablas de datos de seguridad sólo se utilizan a título de orientación, porque los valores dependen de la repartición granulométrica y de la forma de las partículas, del contenido de humedad y de la presencia de aditivos, incluso en pequeñas proporciones. Para una aplicación específica, se deberían ensayar muestras del polvo presente en el aparato, y utilizar los datos obtenidos para la identificación del peligro.»



Producto	Tamaño de partícula μm	TMI c (*) °C	TMI n °C	CME g/m ³	EMI mJ	CLO %	Kmáx bar m/s	Pmáx barg
Almidón de maíz presoluble	120	>400	480	60	>30	9	190	9,3
Almidón de arroz	<10	390	550	60	>30	--	220	9,2
Almidón de maíz	11	>400	400	60	>5	9	164	9,2
Almidón de patata	48	390	420	60	>100	--	54	7,8
Aroma de banana	15	--	--	60	--	--	177	9,9
Aroma de naranja	65	--	--	30	>10	--	220	9,7
Arroz polvo	35	360	380	30	30	13	101	8,3
Avena	295	>400	350	750	>10	--	14	6,0
Azúcar cristal	32	>400	360	30	10	--	123	9,0
Azúcar glacé	12	>400	470	30	10	--	165	9,0
Azufre	40	270	330	35	1	9	87	5,3
Cacao	<10.000	250	560	125	100	9	108	7,2
Café	<10	380	470	60	--	--	90	9,0
Café verde	<30	270	510	30	>100	--	99	7,6
Caramelo seco	75	>400	455	30	--	--	85	8,1
Carne	62	>400	540	60	>100	--	106	8,5
Carne y hueso	230	--	440	60	>100	--	49	7,0
Cáscara de cacahuete	70	280	480	15	>50	--	148	7,9
Cáscara de cacao	410	>400	300	15	>10	--	68	7,8
Capuchino soluble	390	370	350	60	>10	--	94	6,7
Celulosa	33	350	540	60	>300	11	229	9,7
Cera	122	350	360	15	--	--	96	8,3
Coco	70	>400	280	15	>50	--	61	7,5
Colágeno	80	<400	--	60	>1.000	--	42	7,5
Colza	>500	>400	380	--	--	--	--	--
Corcho	82	--	460	48	35	--	116	8,1
Cuajada en polvo	35	>400	--	30	>10	--	108	7,3
Dextrina	<20	>400	510	50	8	--	106	8,8
Dextrosa	80	funde	450	60	100	--	47	6,2
Estearato cálcico	15	>400	590	25	>10	12	155	9,2
Estearato de cinc	<10	funde	520	30	<5	12	286	9,2
Estearato sódico	22	funde	670	30	8,8	--	123	8,8
Fosfato de almidón	12	>400	290	15	<10	--	228	10,3
Fructosa	150	funde	440	60	<1	--	102	9,0
Gelatina	28	>400	520	60	300	--	85	7,6

(*) valor máximo 400 °C según UNE EN 50281-2-1

(continúa)



Producto	Tamaño de partícula μm	TMI c (*) °C	TMI n °C	CME g/m ³	EMI mJ	CLO %	Kmáx bar m/s	Pmáx barg
Germen de malta	125	300	500	60	>1.000	11	95	7,3
Girasol	350	350	470	125	--	--	44	7,9
Glucosa	30	>400	390	60	10	--	123	9,2
Glutamato sódico	245	>400	480	60	>1.000	--	29	5,4
Gluten de maíz	150	>400	520	125	>10	--	110	7,7
Gluten de trigo	48	>400	funde	30	>10	--	105	8,7
Grano restos de silo	160	290	490	60	--	--	89	9,3
Harina de arroz	105	370	480	60	>100	--	57	7,4
Harina de galleta	63	400	>500	60	>30	--	63	5,8
Harina de madera	31	310	500	30	>30	--	224	10,3
Harina de malta	70	310	460	30	>10	11	100	7,8
Harina de salvado	130	400	310	125	10	--	83	7,5
Harina de sangre	46	funde	650	60	--	--	115	8,6
Harina de trigo	65	>400	410	60	>100	11	77	6,9
Jarabe de almidón	89	>400	420	60	<10	14	71	8,3
Lactalbúmina	--	--	570	40	50	--	65	6,6
Lactosa	10	funde	440	60	>10	--	75	8,3
Lactosa D+	40	>400	470	125	--	--	70	8,0
Leche en polvo	165	350	440	60	>30	--	102	7,7
Levadura seca	30	280	410	100	>10	--	103	7,8
Licopodio	--	--	480	25	40	--	57	5,1
Lino	<60	380	410	15	<100	--	208	8,7
Madera	<10	280	330	125	>1.000	10	113	8,6
Madera de peral	27	300	400	30	--	--	205	10,5
Maíz	1.250	>400	390	60	>10	--	94	6,0
Maizena	400	>400	400	60	10	--	118	8,2
Malta negra	125	>400	300	125	>10	--	111	8,1
Malta residuos	<10	310	450	60	>10	--	113	8,1
Maltodextrina	80	funde	400	30	>10	--	128	7,8
Manitol	63	funde	460	125	--	--	115	8,7
Manitol D+	67	funde	460	60	--	--	54	7,6
Melocotón	140	>400	540	60	--	--	81	8,4
Mostaza	300	funde	470	60	>1.000	--	12	5,8
Orujillo	63	--	470	125	>1.000	--	74	10,0
Papel fibras	16	335	570	125	--	--	60	8,7

(*) valor máximo 400 °C según UNE EN 50281-2-1

(continúa)



Producto	Tamaño de partícula μm	TMI c (*) °C	TMI n °C	CME g/m ³	EMI mJ	CLO %	Kmáx bar m/s	Pmáx barg
Papel tissue	54	300	540	30	--	--	52	8,6
Paprica	63	>400	450	250	>1.000	--	23	4,9
Patata granulada	62	340	530	250	>100	--	20	5,7
Pesticida	<10	320	370	60	10	--	164	9,4
Piel cítricos	63	>400	--	60	>1.000	--	39	7,7
Pienso para gatos (pellets)	<63	290	430	30	>10	--	74	5,6
Pienso para peces	150	funde	530	60	>100	--	68	6,7
Pienso para perros (pellets)	63	>400	470	30	>100	--	55	7,6
Pienso para cerdos	63	330	480	60	>100	--	89	8,2
Piensos	26	280	460	30	<100	--	96	7,6
Pimienta blanca	120	--	420	60	>10	--	58	7,2
Pimienta negra	115	--	460	15	>10	--	50	6,7
Pimentón	97	--	490	200	>10	--	88	7,2
Polvo barniz	20	320	460	60	40	--	160	8,5
Proteína de leche	195	>400	450	15	>10	--	55	7,6
Proteína animal	17	>400	540	125	--	--	38	8,3
Proteína de soja	69	>400	>450	30	>1.000	--	70	8,3
Pulpa de madera	20	325	480	60	>1.000	--	107	9,1
PVC	<10	>400	780	60	>1.000	--	168	8,4
Residuo madera de conglomerado	61	320	490	30	--	--	156	9,2
Resina epoxi	32	funde	490	15	9	--	237	9,3
Salvado	600	330	410	30	1.000	--	21	5,1
Sémola de patata	24	310	490	15	>100	--	80	7,6
Soja	95	290	450	250	--	--	53	8,5
Suero de Leche	105	>400	410	125	>1.000	--	41	7,4
Tabaco	52	270	500	250	>1.000	--	70	7,2
Tapioca	20	290	450	40	>100	--	110	7,8
Té	76	300	510	125	>100	--	59	8,2
Trigo	90	290	430	60	>100	--	81	7,8
Valeriana	78	--	--	125	--	--	106	8,7
Vitamina C	39	funde	460	60	--	--	111	9,0

(*) valor máximo 400 °C según UNE EN 50281-2-1



Anexo H

Modelo-guía para la elaboración del Documento de Protección Contra Explosiones

Elaborado con la colaboración de
Amalthea Beratung, S.L.



DOCUMENTO DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES

**ÍNDICE**

1. INTRODUCCIÓN
2. IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA
3. OBJETO DEL DOCUMENTO DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES
4. CRITERIOS DE REFERENCIA
5. DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA
6. RESPONSABILIDADES
7. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA
 - 7.1. Ubicación de la empresa
8. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS Y ACTIVIDADES
 - 8.1. Descripción completa de los procesos
 - 8.2. Identificación de las sustancias utilizadas
 - 8.3. Descripción de la limpieza
 - 8.4. Descripción de la ventilación
9. EVALUACIÓN DE RIESGOS DERIVADOS DE LA PRESENCIA DE ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS
 - 9.1. Consideraciones generales
 - 9.2. Metodología de evaluación
 - 9.3. Resultados de la evaluación
10. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y DE PROTECCIÓN
 - 10.1. Consideraciones generales
 - 10.2. Clasificación en zonas
 - 10.3. Relación de las medidas de prevención y protección
 - 10.4. Selección, mantenimiento e inspección de equipos
11. COORDINACIÓN DE MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES
12. ANEXOS



DOCUMENTO DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES**1.- INTRODUCCIÓN**

La Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales, establece el marco legislativo para una adecuada protección de la seguridad y la salud de los trabajadores. A través de diversas normas reglamentarias, se dictan las disposiciones para hacer efectiva esta protección,

En el ámbito de la protección de la seguridad y la salud de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas (atex) en el lugar de trabajo, el Real Decreto 681/2003, transpone al Derecho español, la Directiva 1999/92/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 1999.

2.- IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA**DATOS DE LA EMPRESA.**

NOMBRE EMPRESA.....
 C.C.C.....
 DOMICILIO.....
 C. POSTAL.....
 LOCALIDAD / PROVINCIA.....

DATOS DEL CENTRO DE TRABAJO.

NOMBRE CENTRO.....
 C.C.C.....
 DOMICILIO.....
 C. POSTAL.....
 LOCALIDAD / PROVINCIA.....

3.- OBJETO DEL DOCUMENTO DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES

El presente documento de protección contra explosiones tiene por objeto dar cumplimiento a lo establecido en el artículo 8 del Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, 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.

4.- CRITERIOS DE REFERENCIA

Los criterios legales y técnicos que sirven de base para la confección del presente documento son:

- Ley de prevención de riesgos laborales
- Real Decreto 681/2003 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



DOCUMENTO DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES



- Real Decreto 400/1996 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 explosivas
- Real Decreto 1215/1997 disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo
- Real Decreto 1435/1992 y Real Decreto 56/1995 disposiciones sobre máquinas
- Real Decreto 842/2002 Reglamento electrotécnico de baja tensión
- 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
- UNE-EN-60079-10 Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas. Parte 10. Clasificación de emplazamientos peligrosos
- UNE-EN-60079-17 Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas. Parte 17. Inspección y mantenimiento de instalaciones eléctricas en áreas peligrosas
- UNE-EN-60079-14 Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas. Parte 14. Instalaciones eléctricas en áreas peligrosas
- UNE-202004-3 Material eléctrico para uso en presencia de polvo combustible. Parte 3: clasificación de los lugares donde hay o puede haber polvos combustibles
- UNE-EN-1127-1 Atmósfera explosivas. Prevención y protección contra la explosión. Parte 1. Conceptos básicos y metodología.

5.- DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA

Área de riesgo: Aquélla en la que pueden formarse atmósferas explosivas en cantidades tales que resulte necesaria la adopción de precauciones especiales para proteger la seguridad y la salud de los trabajadores afectados.

Áreas que no presentan riesgo: Aquéllas en las que no cabe esperar la formación de atmósferas explosivas en cantidades tales que resulte necesaria la adopción de precauciones especiales.

Atmósferas de gas explosivas: Es una mezcla de una sustancia inflamable en estado de gas vapor con el aire, en condiciones atmosféricas, en la que, en caso de ignición, la combustión se propaga toda la mezcla no quemada.

Atmósfera de polvo explosivo: Mezcla de aire, en condiciones atmosféricas, con sustancias inflamables bajo la forma de polvo o de fibras en las que, en caso de ignición, la combustión se propaga al resto de la mezcla no quemada.

Condiciones normales de explotación: Utilización de las instalaciones de acuerdo con sus especificaciones técnicas de funcionamiento.

Gas o vapor inflamable: Es un gas o un vapor que, mezclado con el aire en ciertas proporciones, formará una atmósfera de gas explosiva.

Líquido inflamable: Es un líquido capaz de producir un vapor inflamable en todas las condiciones de operación previsible.

Mezclas híbridas: Mezclas de polvo/aire combinadas en cantidades importantes con vapores y gases inflamables. Si la concentración de vapores o de gases no supera el 20% del límite inferior de explosividad del vapor o del gas correspondiente, el sistema puede considerarse en la mayoría de los casos, como una mezcla pura de polvo/aire inflamable. Por encima de este nivel puede requerirse un examen específico.



DOCUMENTO DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES

Niebla inflamable: Son gotas pequeñas de líquido inflamable dispersas en el aire de forma que originen una atmósfera explosiva.

Polvo: Pequeñas partículas sólidas presentes en la atmósfera, que se depositan por su propio peso, pero que pueden permanecer en suspensión en el aire un cierto tiempo.

Polvo combustible: Polvo que se puede quemar o poner en incandescencia y que podría formar mezclas explosivas con el aire, a temperaturas normales y presión atmosférica.

Sustancias inflamables o combustibles: Aquéllas capaces de formar atmósferas explosivas, a no ser que el análisis de sus propiedades demuestre que, mezcladas con el aire, no sean capaces por sí solas de propagar una explosión.

Zona 0: Área de trabajo en la que una atmósfera explosiva consistente en una mezcla con aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla está presente de modo permanente, o por un periodo de tiempo prolongado, o con frecuencia.

Zona 1: Área de trabajo en la que es probable, en condiciones normales de explotación, la formación ocasional de una atmósfera explosiva consistente en una mezcla con aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla.

Zona 2: Área de trabajo en la que no es probable, en condiciones normales de explotación, la formación de una atmósfera explosiva consistente en una mezcla con aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla o en la que, en caso de formarse, dicha atmósfera explosiva sólo permanezca durante breves periodos de tiempo.

Zona 20: Área de trabajo en la que una atmósfera explosiva en forma de nube de polvo combustible en el aire está presente de forma permanente, o por un periodo de tiempo prolongado, o con frecuencia.

Zona 21: Área de trabajo en la que es probable la formación ocasional, en condiciones normales de explotación, de una atmósfera explosiva en forma de nube de polvo combustible en el aire.

Zona 22: Área de trabajo en la que no es probable, en condiciones normales de explotación, la formación de una atmósfera explosiva en forma de nube de polvo combustible en el aire o en la que, en caso de formarse, dicha atmósfera explosiva sólo permanece durante un breve periodo de tiempo.

6.- RESPONSABILIDADES

El titular de la actividad es el responsable de elaborar y mantener actualizado el presente Documento de Protección Contra Explosiones. Asimismo, es responsable de que se revise el documento antes de iniciar el trabajo o cuando se efectúen modificaciones, ampliaciones o transformaciones importantes en el lugar de trabajo, en los equipos de trabajo o en la organización del trabajo.

El titular de la actividad es el responsable de la custodia del presente documento, el cual forma parte de la documentación a elaborar y conservar a disposición de la autoridad laboral, a que se refiere el artículo 23 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.



DOCUMENTO DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES



7.- DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Empresa dedicada a

7.1.- UBICACIÓN DE LA EMPRESA

El centro de trabajo de la empresa, se encuentra ubicado en la dirección indicada. Se adjunta plano de ubicación

8.- DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS Y/O ACTIVIDADES

8.1.- DESCRIPCIÓN COMPLETA DE LOS PROCESOS

Se describen a continuación, de forma breve, las principales características de las instalaciones objeto del presente Documento de Protección Contra Explosiones, así como algunos datos relevantes relacionados con la protección de las explosiones.

8.1.1.- Descripción de las instalaciones

8.1.2.- Diagrama de flujo

8.1.3.- Esquema de ubicación de las instalaciones

Las instalaciones indicadas se encuentran distribuidas según se indica en el siguiente esquema:

8.1.4.- Equipos característicos

Los equipos característicos a considerar son:

Nombre del equipo	
Características básicas	
Acción dentro del proceso	
Ubicación	



DOCUMENTO DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES8.1.5.- Descripción del proceso industrial8.1.6.- Descripción del arranque y parada8.2.- IDENTIFICACIÓN DE LAS SUSTANCIAS UTILIZADAS

Una condición necesaria (aunque no suficiente) para que se forme una explosión, es la presencia de sustancias inflamables en el proceso de trabajo o producción. En un proceso pueden intervenir una o varias sustancias clasificadas como inflamables, y que por tanto pueden generar un riesgo de explosión.

Las sustancias inflamables pueden estar presentes de forma evidente como materia básica o materia auxiliar del proceso, o de manera no tan obvia, como producto residual, intermedio o acabado, o generadas como consecuencia de un mal funcionamiento de la instalación.

Es necesario identificar todas las sustancias peligrosas que puedan estar presentes en la instalación y en el proceso, ya que sus características determinarán en gran medida las acciones a adoptar en adelante para garantizar los niveles de seguridad adecuados.

Desde el punto de vista del tipo de sustancias peligrosas se puede distinguir entre:

- Gases
- Vapores
- Nieblas
- Polvos combustibles

Mientras que el tratamiento de los tres primeros tipos de sustancias será similar, habrá notables diferencias con el tratamiento que se brindará a los polvos combustibles.

En el presente Documento de Protección Contra Explosiones se consideran las siguientes sustancias:



DOCUMENTO DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES



Nombre	Sustancia inflamable		LIE		Volatilidad		Densidad relativa del gas o vapor respecto al aire	Temperatura de ignición (°C)	Grupo y clase de temperatura	Observaciones
	Composición Peso molecular	Punto de inflamabilidad (°C)	Kg/m ³	Vol %	Tensión de vapor 20 °C (Kpa)	Punto de ebullición (°C)				



DOCUMENTO DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES**8.3.- DESCRIPCIÓN DE LA LIMPIEZA****8.4.- DESCRIPCIÓN DE LA VENTILACIÓN****9.- EVALUACIÓN DE RIESGOS DE EXPLOSIÓN****9.1.- CONSIDERACIONES GENERALES**

En base a las características de las instalaciones y las sustancias utilizadas en los procesos objeto de análisis, y que han sido descritas en el apartado precedente, se ha aplicado un método sistemático para determinar de forma cualitativa los eventuales riesgos de explosión.

Para ello se han analizado en cada instalación de forma individual los diferentes elementos que la componen, y para cada uno de ellos la influencia de los factores que determinan la aparición de riesgos de explosión.

Como ya se ha indicado anteriormente, para que exista un riesgo de explosión es necesario que se den simultáneamente:

- Presencia de sustancias inflamables con un elevado grado de dispersión.
- Concentración en oxígeno de las sustancias inflamables dentro de sus límites de explosividad.
- Presencia de una cantidad peligrosa de atmósfera explosiva.
- Presencia de una fuente de ignición efectiva.

La presencia de sustancias inflamables es un hecho, ya que precisamente es lo que caracteriza a los procesos estudiados. Por esto, y por ese mismo orden, son los otros tres puntos los que han sido valorados para determinar la posibilidad de que exista un riesgo de explosión.

En caso de que el análisis realizado manifieste que no se dan las circunstancias arriba enumeradas, no será necesario adoptar medidas adicionales de protección contra explosiones, ya que no existe tal riesgo.

En el supuesto contrario, es decir, cuando efectivamente se den dichas circunstancias y en consecuencia haya riesgo de explosión, será necesario evaluar la probabilidad y posibles consecuencias de la misma, así como adoptar medidas adicionales de protección contra explosiones.

Las medidas de protección contra explosiones siempre se adoptarán siguiendo el siguiente orden de prioridad :

- Medidas para prevenir la formación de atmósferas explosivas
- Medidas para prevenir la presencia de fuentes de ignición efectivas
- Medidas para la limitación de los efectos de explosiones
- Medidas de control de procesos
- Medidas organizativas para la protección contra explosiones



DOCUMENTO DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES



9.2.- METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

En la tabla «Evaluación de probabilidades y consecuencias de una explosión» (Ver Anexos) se ha determinado, para cada uno de los escenarios de la «Tabla combinada Atmósferas explosivas - Fuentes de ignición» el Nivel de Riesgo en caso de materializarse la explosión.

Para determinar el Nivel de Riesgo se considerarán dos factores:

- La Probabilidad de que se materialice un evento
- Las Consecuencias que ello tendría

La Probabilidad de que se materialice un evento de los descritos en la «Tabla combinada Atmósferas explosivas- Fuentes de ignición» puede ser:

Frecuente: Ocurre continuamente

Probable: Ocurre varias veces en la vida del sistema

Ocasional: Ocurre alguna vez en la vida del sistema

Remoto: Improbable, pero podría ocurrir en la vida del sistema

Improbable: Es muy improbable, por lo que puede que no se produzca nunca

Las Consecuencias de una explosión se pueden clasificar en:

Catastrófico: Muerte o pérdida de la instalación

Mayor: Daños severos en personas (accidente o enfermedad) o instalaciones

Menor: Daños menores en personas (accidente o enfermedad) o instalaciones

Despreciable: Daños mínimos en personas o instalaciones

Con lo cual, el criterio para definir el Nivel de Riesgo de un evento en función de la probabilidad de que ocurra, y de las consecuencias que tendría es el siguiente:

PROBABILIDAD	CONSECUENCIAS			
	Catastrófico	Mayor	Menor	Despreciable
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



DOCUMENTO DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES



Donde:

NIVEL DE RIESGO	SIGNIFICADO	CONSECUENCIA
A	INTOLERABLE	La instalación no está en condiciones para su uso seguro. Es absolutamente indispensable adoptar medidas de protección adicionales
B	INTERMEDIO	La instalación se puede usar, pero de deben adoptar medidas de protección contra explosión
C	INTERMEDIO	La instalación se puede usar, pero sería aconsejable la adopción de medidas de protección adicionales
D	TOLERABLE	No es necesario adoptar medidas adicionales

9.3.- RESULTADOS DE EVALUACIÓN

Los resultados de la evaluación de los riesgos para la seguridad y la salud de los trabajadores expuestos a atmósferas explosivas, se detallan en el apartado de anexos.

10.- MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y DE PROTECCIÓN

10.1.- CONSIDERACIONES GENERALES

Efectuada la evaluación de los riesgos de las instalaciones y procesos contra explosiones, se proponen una serie de medidas con el objetivo de eliminar el riesgo, y si no es posible, en reducir el nivel del mismo.

Las medidas de prevención y de protección se clasifican en:

1.- Medidas de prevención de atmósferas explosivas

- a) Sustitución de las sustancias inflamables
- b) Limitación de la concentración
- c) Inertización
- d) Prevención o reducción de la formación de atex en las inmediaciones de las instalaciones
- e) Medidas para eliminar los depósitos de polvos
- f) Utilización de aparatos detectores / avisadores de gas
- g) Prevención de fuentes de ignición



DOCUMENTO DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES



- 2.- Medidas de prevención de fuentes de ignición efectivas
- 3.- Medidas para la limitación de los efectos de la explosión
 - a) Construcción resistente a la explosión
 - b) Descarga de la explosión
 - c) Supresión de explosiones
 - d) Prevención de la propagación de la explosión («desconexión»)
- 4.- Medidas de control de procesos
 - a) Aplicación de sistemas de control de procesos para prevenir la aparición de atex
 - b) Aplicación de sistemas de control de procesos para evitar fuentes de ignición
 - c) Aplicación de sistemas de control de procesos para atenuar los efectos nocivos de una explosión
- 5.- Medidas organizativas para la protección contra explosiones
 - a) Instrucciones de servicio
 - b) Cualificación del personal
 - c) Formación del personal
 - d) Utilización de los equipos de trabajo
 - e) Ropa de trabajo
 - f) Sistemas de permisos de trabajo
 - g) Trabajos de mantenimiento y control
 - h) Señalización de las áreas
 - i) Listado de equipos móviles autorizados

10.2.- CLASIFICACIÓN EN ZONAS

En la mayoría de procesos donde intervienen sustancias inflamables, resulta difícil garantizar que no se van a producir nunca atmósferas explosivas.

Es igualmente difícil garantizar que los equipos instalados en las áreas de influencia de esas atmósferas explosivas, no se puedan convertir en potenciales fuentes de ignición.

Por ello, la clasificación en zonas es un método para analizar y clasificar el entorno donde pueden aparecer atmósferas explosivas, y de esta forma, facilitar la correcta selección e instalación de aparatos que garanticen un nivel de seguridad adecuado.

En el caso de atmósferas explosivas originadas por mezclas con aire de gases, vapores o nieblas, las zonas o áreas peligrosas se pueden clasificar en:

- a) Zona 0
- b) Zona 1
- c) Zona 2



DOCUMENTO DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES

En el caso de atmósferas explosivas originadas por mezclas de polvos combustibles, las zonas o áreas peligrosas se pueden clasificar en las siguientes categorías:

- a) Zona 20
- b) Zona 21
- c) Zona 22

La definición de cada zona, se encuentra en el apartado de definiciones y terminología del presente documento de protección.

El resultado de la clasificación en zonas para el presente documento se adjunta en el apartado de anexos.

10.3.- REALIZACIÓN DE LAS MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN

La realización de las medidas de prevención y protección, adecuadas para la prevención y la protección de la seguridad y la salud de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de la presencia de atmósferas explosivas en los lugares de trabajo, se indican en el apartado de anexos.

En el anexo correspondiente, se establece la persona/s responsable/s, así como el plazo de realización de las citadas medidas de prevención y protección.

10.4.- SELECCIÓN, MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN DE EQUIPOS

Además de la adopción de las medidas organizativas descritas en apartados anteriores, para dar cumplimiento a las disposiciones mínimas destinadas a mejorar la seguridad y la protección de la salud de los trabajadores, se han tenido en cuenta medidas de protección contra explosiones específicas de los aparatos, sistemas de protección y sus dispositivos de conexión, que deban utilizarse en áreas clasificadas como peligrosas, así como aquellos que estando ubicados en áreas que no presenten riesgo, sean necesarios o contribuyan al funcionamiento en condiciones seguras de los equipos situados en zonas de riesgo.

En este sentido se hará una distinción entre aquellos equipos, si los hubiera, que estuvieran instalados o puestos a disposición de los trabajadores antes del 30 de junio de 2003, y los que han sido instalados o puestos en disposición con posterioridad a esa fecha.

En ambos casos se adoptan medidas de protección contra explosiones, tal como se describe en el presente Documento, para dar cumplimiento a las disposiciones del apartado A del Anexo II del RD 681/2003. Adicionalmente, en este apartado se establecen medidas sobre programas de inspección de los equipos y que garanticen fundamentalmente que:

- a) Se verifique antes de utilizar por primera vez los lugares de trabajo que las instalaciones, aparatos, sistemas de protección y sus correspondientes dispositivos de conexión cumplen las condiciones necesarias para garantizar la protección contra explosiones (inspección inicial).



DOCUMENTO DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES



- b) Se han adoptado todas las medidas necesarias para asegurarse de que en los lugares de trabajo, los equipos de trabajo y sus correspondientes dispositivos de conexión han sido diseñados, contruidos, ensamblados y se mantienen y utilizan de tal forma que se reducen al máximo los riesgos de explosiones (inspecciones periódicas).

En el caso de los equipos instalados o puestos a disposición después del 30 de junio del 2003, y que vayan a ser utilizados en áreas peligrosas, se garantiza además que los mismos cumplen con los requerimientos del RD 400/1996.

10.4.1.- Selección de equipos

En el apartado anexos se incluye una tabla resumen «Cumplimiento de los requisitos de protección en los equipos», indicándose las diferentes instalaciones, así como los detalles sobre la adecuación de sus requisitos de sus equipos a los requisitos exigibles. Esta adecuación se ha verificado desde los siguientes puntos de vista:

- 1.- Categoría de los equipos acorde al emplazamiento en el que van a ser utilizados
- 2.- Conformidad del mercado CE de los equipos
- 3.- Certificado de conformidad del fabricante
- 4.- Documentación que acompaña al equipo

En el apartado de anexos, se desarrollan los requisitos mínimos que deben cumplir los equipos en cuanto a categoría y nivel de seguridad, en función de la clasificación de la zona en la que se encuentren.

10.4.2.- Inspección y mantenimiento de los equipos

Se establece que las revisiones de inspección y mantenimiento de los equipos deben realizarse únicamente por personal experimentado y con la formación suficiente sobre modos de protección, reglamentación aplicable, etc...

Desde el punto de vista de la periodicidad existen cuatro tipos de inspecciones:

- **Inspección inicial:** inspección de todos los materiales, sistemas e instalaciones antes de su puesta en servicio.
- **Inspección periódica:** inspección de todos los materiales, sistemas e instalaciones efectuada de forma sistemática.
- **Inspección por muestreo:** inspección realizada sobre una parte de los materiales, sistemas e instalaciones.
- **Inspección tras modificaciones:** inspección a realizar después de cualquier sustitución, reparación, modificación o ajuste.

Desde el punto de vista del alcance de las inspecciones, las mismas se clasifican en tres grados:

- **Visual:** inspección que permite detectar, sin el uso de equipamiento de acceso o herramientas, aquellos defectos que sean evidentes a la vista, tales como por ejemplo falta de tornillos.



DOCUMENTO DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES

- **Cercana:** inspección que abarca aquellos aspectos cubiertos mediante una inspección visual y, además, identifica aquellos defectos, por ejemplo, tornillos flojos, que son evidentes solamente con el uso de equipamiento de acceso como herramientas. Normalmente no requiere la apertura de envoltentes o desconexión del equipos.
- **Detallada:** inspección que abarca aquellos aspectos cubiertos por una inspección cercana y, además, identifica los defectos, por ejemplo conexiones flojas, los cuales sólo se hacen evidentes con la apertura de las envoltentes y/o con el uso de herramientas y equipos de ensayo.

Además de la realización de la inspección inicial de los equipos se establecerá un plan de inspecciones periódicas, el cual se incluirá en el programa de mantenimiento preventivo general de la fábrica.

La periodicidad, así como el alcance de las inspecciones se establecerá en base al deterioro previsto y las indicaciones del fabricante. No obstante se realizarán inspecciones por muestreo para modificar o confirmar el intervalo que se proponga, así como su grado. Para ello se analizarán regularmente los resultados de las inspecciones por muestreo.

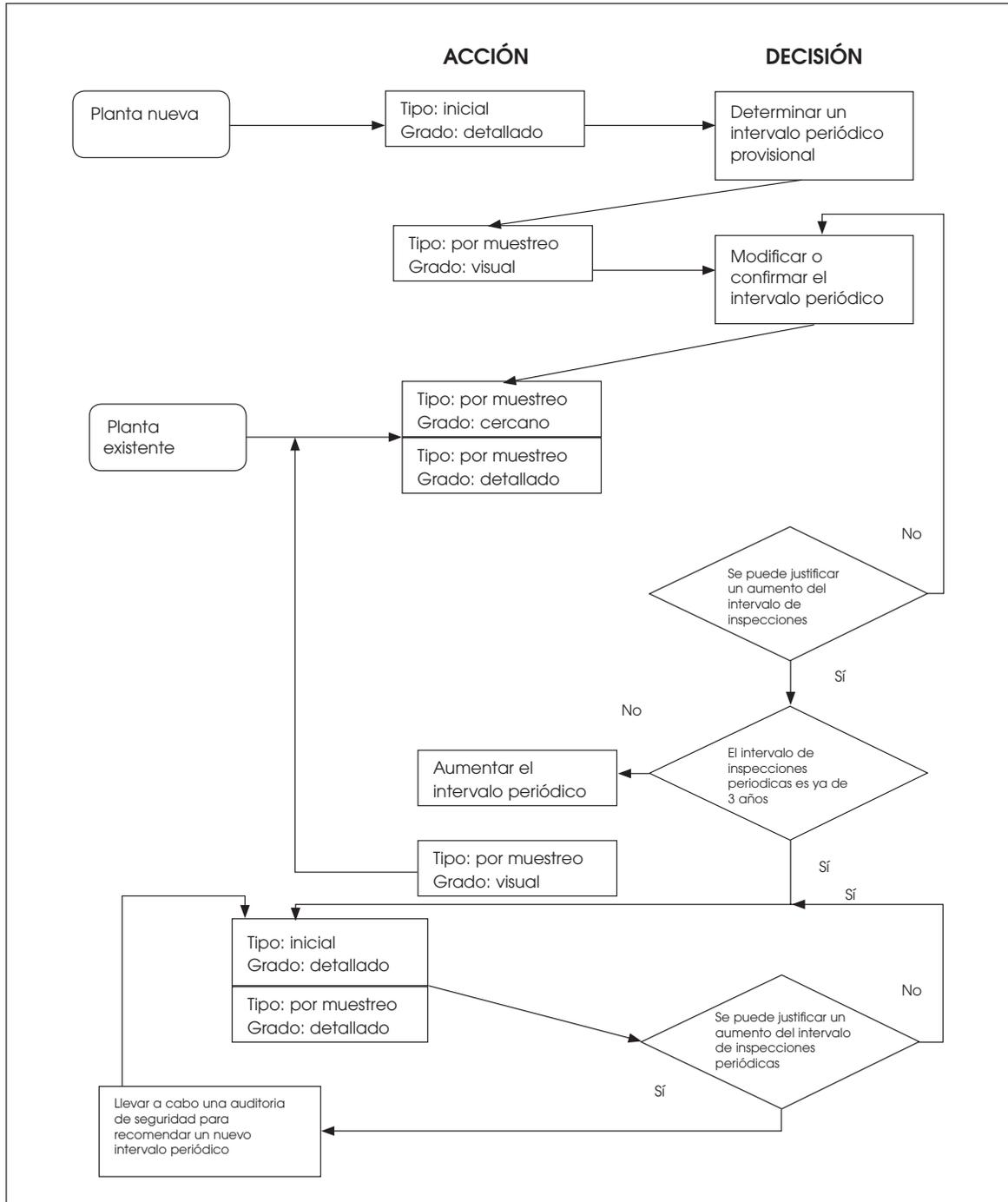
En general el intervalo entre inspecciones periódicas no excederá en cualquier caso los tres años, y en particular el equipo eléctrico móvil, si lo hubiera, será sometido a una inspección periódica detallada como máximo cada 12 meses.



DOCUMENTO DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES



El procedimiento a seguir para determinar las periodicidades definitivas de las inspecciones se basará en el esquema adjunto.



Esquema típico para inspecciones periódicas s/ UNE-EN-60079-17

* Cl capacidad de ignición en funcionamiento normal, por ejemplo cuando los componentes internos producen en operación normal arcos, chispas o temperaturas de superficie capaces de causar ignición



DOCUMENTO DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES

La extensión de las inspecciones a realizar se basará en la sección «**Criterios para el mantenimiento de equipos**» del apartado anexos. Se conservará un registro sobre todas las inspecciones realizadas, incluyendo detalles sobre la extensión de las mismas y posibles acciones que de ellas se deriven.

11.- COORDINACIÓN DE MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES

Cuando en un mismo lugar trabajen simultáneamente varias personas o grupos desarrollando distintas tareas, pueden ponerse recíprocamente en peligro si no disponen de suficiente información sobre los peligros que entraña la actividad que se está desarrollando a su lado.

Según el artículo 6 del capítulo II del RD 681/2003 sobre protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de la presencia de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo:

«Cuando en un mismo lugar de trabajo se encuentren trabajadores de varias empresas, (...), el empresario titular del centro de trabajo coordinará la aplicación de todas las medidas relativas a la seguridad y la salud de los trabajadores y precisará, en el documento de protección contra explosiones, a que se refiere el artículo 8, el objeto, las medidas y modalidades de aplicación de dicha coordinación».

Para dar cumplimiento al requisito anterior, se ha implantado en la empresa el procedimiento de coordinación de actividades y que se adjunta en el apartado de anexos.

12.- ANEXOS

1. Evaluación de riesgos derivados de la presencia de atmósferas explosivas
2. Medidas de prevención y protección
3. Clasificación de zonas
4. Requisitos mínimos de los equipos de trabajo
5. Cumplimiento de los requisitos mínimos de los equipos de trabajo
6. Criterios para el mantenimiento de los equipos de trabajo
7. Coordinación de actividades empresariales
8. Permisos de trabajo
9. Instrucciones de trabajo
10. Planes de formación



Bibliografía

1. **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.
2. **Real Decreto 681/2003**, de 12 de junio, 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. BOE núm. 145 de 18 de junio de 2003.
3. **Orden de 13 de enero de 1988** por la que se modifica la Instrucción Complementaria MI BT 026 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, BOE núm. 22 de 26 de enero de 1988.
4. **UNE-EN 50281-3**: Aparatos destinados a ser utilizados en presencia de polvos combustibles - Parte 3: Clasificación de emplazamientos en donde están o pueden estar presentes polvos combustibles.
5. **RASE Project**:. Methodology for the Risk Assessment of Unit Operations and Equipment for Use in Potentially Explosive Atmospheres .
6. **NFPA 664** Standard for the Prevention of Fires and Explosions in Wood Processing and Woodworking Facilities 1998 Edition.
7. **NFPA 61** Standard for the Prevention of Fires and Dust Explosions in Agricultural and Food Products Facilities 1999 Edition.
8. **NFPA 69** Standard on Explosion Prevention Systems 2002 Edition.
9. **NFPA 654** Standard for the Prevention of Fire and Dust Explosions from the Manufacturing, Processing, and Handling of Combustible Particulate Solids 2000 Edition.
10. **Seguridad Industrial en Atmósferas Explosivas** Dr. Javier García Torrent.
11. **Guía para la clasificación de zonas**. Col·legi d'Enginyers Tècnics de Barcelona.
12. **UNE-EN 14491 2006** Sistemas de protección por venteo de explosiones de polvo.
13. **prEN 15089** Sistemas de aislamiento de explosiones (Explosion Isolation Systems).
14. **prEN 14373** Sistemas de supresión de explosiones (Explosion Suppression Systems).
15. **UNE-EN 14460** Equipos resistentes a las explosiones (Explosion resistant products).
16. **RD 2267/2004**. Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.
17. **RD 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 100).
18. **UNE-EN 1127-1:1997**. Atmósferas explosivas. Prevención y protección contra la explosión. Parte 1: Conceptos básicos y metodología.
19. **prEN 15198:2004**. Metodología para la evaluación del riesgo de ignición de equipos y componentes no eléctricos con uso previsto en atmósferas potencialmente explosivas.
20. **BIA – Report Combustion and explosion characteristics of Dust 13/97**, www.hvbg.de/e/bia/gestis/expl/index.html



Agradecemos la colaboración a las entidades:

Abbott Laboratories, S.A.
Academia De Soldadura Linde
Amalthea Beratung, S.L.
ATEX Explosionschutz GmbH
Braime Elevador Components Limited
Brilex GmbH
Corporación Agrolimentaria Guissona, S.A.
Cray Valley Iberica, S.A.
Degussa Sant Celoni, S.A.
Deutsche Maschinen S.L.
Emil Kammerer GmbH
Estrella de Galicia (Hijos de Rivera, S.A.)
Euromed, S.A
Fargus-Grecon Greten GmbH & Co.KG
Harinera Vilafranguina S.A.
Huici Leidan, S.A.
Inburex Consulting GMBH
Industrias metálicas Oñaz S.A.
IMA S.L.
Laboratorio Oficial José de Madariaga
LPG Técnicas de Extinción, S.A.
LPG Prevención y Protección de Explosiones, S.L.
Masanés Suministros Industriales, S.A.
Molaris, S.L.
Nestlé España S.A.
Prado Transformados Metálicos, S.A.
Riera Nadeu, S.A.
Rosal Instalaciones Agroindustriales
Thorwesten Vent GmbH.
Vimax S.A.
Vallcompanys Group





Con la colaboración de:

