



Age Fotostock

Criterios para la prevención y protección de incendios y explosiones en instalaciones industriales

CONTROL DE, ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS

El 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 (ATEX) en el lugar de trabajo sentó las bases para la evaluación del riesgo de explosión en las instalaciones que presentasen focos generadores de este tipo de atmósferas. No obstante, han sido muchas las dudas surgidas a la hora de aplicar este Real Decreto. En este artículo se propone una serie de orientaciones para establecer una pauta de actuación particular en función del tipo de instalación o industria. Hay que conocer en detalle el proceso para poder protegerlo eficazmente contra los riesgos ATEX.

Por XAVIER DE GEA. Director. LPG Prevención y Protección de explosiones.

Desde el 1 de julio del 2003 es de obligado cumplimiento el Real Decreto 681/2003 para todos aquellos nuevos establecimientos industriales con riesgo de atmósferas explosivas. Asimismo, desde el 30 de junio de 2006 lo es también para todos los establecimientos industriales con este tipo de riesgo. Este hecho ha despertado la necesidad legal de

disponer del documento de protección contra explosiones.

Sin aburrir con introducciones jurídicas, de las cuales ya se han publicado numerosos artículos, lo esencial es conocer el fenómeno de «la combustión».

Una vez conocido el fenómeno genérico del fuego, combustión, incendio, explosión, etc..., debemos ver si este hecho puede afectar a nuestra actividad y

en qué medida; es bueno pararse un momento y «ponerse las gafas de seguridad» (no las de protección, sino las de mirar las cosas desde la óptica de la seguridad) para comprobar si nos encontramos en situación de riesgo.

A pesar de no haber tenido ningún accidente durante años, podemos encontrar los ingredientes para el mismo. Podemos hallar indicios en los accidentes ocurridos en nuestro sector que nos indicarán, entre otros, si manejamos sustancias «peligrosas».

Por ejemplo, si analizamos las cifras de explosiones de polvo en el sector del cereal norteamericano en las últimas cuatro décadas del siglo XX, veremos que este riesgo no es despreciable: 15 explosiones anuales, 6 muertos y 25 heridos por año, además de las pérdidas económicas, las cuales no aparecen reflejadas en este informe (tabla 1).

Tabla 1. Incidentes 1958-1998.

Nº de explosiones	616
Nº de muertes	243
Nº de heridos	1.018

Tabla 2. Medias anuales de incidentes y sus consecuencias.

	De 1958 a 1987	De 1988 a 1998
Nº de explosiones	15.7	13.2
Nº de muertes	7.3	2.3
Nº de heridos	29.1	13.2

Tras varios accidentes, la administración estadounidense decidió regular el sector, y así lo hizo. El 31 de diciembre de 1987, con efectos del 30 de marzo de 1988, se publicó la *OSHA Grain Handling facilities Final Rule* con el objetivo de reducir la siniestralidad (tabla 2).

Este mismo efecto se espera de la Directiva europea 92/99 que se ha traspuesto al Real Decreto 681/2003.

Convencidos con este exitoso ejemplo de que la regulación es necesaria, vamos a analizar el fenómeno, ya que de su comprensión derivará la mejora.

Pero, ¿qué es el fuego?

El fuego es una reacción de oxidación en la que un producto combustible es oxidado por otro llamado comburente. Esta reacción se inicia con el aporte de una energía de activación, siendo los efectos de esta reacción exotérmica el calor, la radiación o llamas y la emisión

De la aplicación de la Directiva europea 92/99, traspuesta a la legislación española, se espera una reducción de la siniestralidad en el sector

de subproductos en forma de gases y partículas sólidas o humo.

Así, una combustión es aquella en la que el combustible y el comburente no están mezclados, con lo que el aporte continuo de este elemento sobre el combustible hace que arda más o menos constantemente, lo que permite una oxidación constante, la cual durará mientras exista combustible o deje de aportarse comburente.

Un incendio sería una combustión descontrolada y una explosión es un incendio muy rápido, por tanto, un descontrol rapidísimo.

A partir de este punto nos centramos en los distintos tipos de explosiones:

- **Deflagraciones**, combustión subsónica. Es aquella en que el frente de presión generado por la oxidación va a una velocidad inferior a la del sonido (340 m/s). Se caracteriza por que «el frente de presión va por delante del de llamas».
- **Detonación**. Es aquella explosión supersónica y de consecuencias devastadoras por su velocidad y presiones alcanzadas. Es habitual en los explosivos y en deflagraciones conducidas que se aceleran a detonación, caso de los gases en tuberías. En este caso, «el frente de llamas y el de presión van juntos».



Ejemplo de oxidación constante: quemador de un horno o un hogar.



Resultados de la explosión en la fábrica de Imperial Sugar (Estados Unidos) el pasado mes de febrero.

Al analizar lo que es una explosión, surge la inquietud de dónde está la frontera entre una combustión y una deflagración. Por ello, es importante definir y entender en qué consiste una combustión y qué diferencia existe entre ésta y una deflagración.

Para que se produzca una deflagración, el combustible y el comburente deben estar mezclados y debe haber aporte de la energía de activación necesaria para iniciar la oxidación. La inflamación se inicia en un punto y se propaga rápidamente al resto de «mezcla explosiva». La consecuencia inmediata de esta propagación es el desprendimiento de energía en forma de calor, que a su vez aumenta el volumen de los gases que lo reciben, los cuales son los responsables de la onda expansiva. La primera consecuencia es que los sistemas tradicionales de extinción no tienen tiempo de frenar este rápido avance y, en definitiva, no sirven, ya que el alcance sobre otras zonas es casi inmediato, no hay tiempo para la extinción.

El peligro de una deflagración que se produce en el interior de un recipiente es la explosión que tiene lugar por incremento de su presión interna. La peligrosidad estará en función del volumen del recipiente y también de la presión que resista el mismo.

Por tanto, podemos concluir que una deflagración libera calor y presión en el interior de un recipiente, el cual sufre un daño irreversible.

Por consiguiente, para que se produzca una deflagración lo fundamental es tener atmósfera explosiva, es decir, ATEX.

¿Dónde hay ATEX?

Lo primero que debemos hacer es ver si las sustancias implicadas son inflamables o no, y si lo son, cuáles son sus límites de sensibilidad a la inflamación y cuál será su severidad de explosión. Es imprescindible conocer su riesgo.

En el caso de un sólido combustible, debemos conocer los parámetros de la tabla 3.

Por tanto, si estas sustancias son inflamables, el siguiente paso que debemos dar en un recinto industrial es localizar las atmósferas explosivas (coloquialmente conocidas como ATEX), y evitar que éstas se inflamen; o si esto llega a suceder, controlar la generación de la energía liberada.

Una ATEX es una mezcla de combustible y comburente. Los combustibles pueden encontrarse en forma de gas, vapor, polvo o fibras, y el comburente es habitualmente el oxígeno del aire. No

Tabla 3. Parámetros de inflamabilidad.

SENSIBILIDAD A LA IGNICIÓN	
TMIC	
TMIN	
CME	
EMI	
SEVERIDAD DE EXPLOSIÓN	
Pmáx	
Kmáx	
CLO	



Las fuentes de ignición deben evitarse.

Nadie permite unos fuegos artificiales en sus instalaciones, pero sí un soplete o el uso de una radial

hay que olvidar que la generación de ATEX puede ser temporal o accidental.

Aquí entraría la clasificación de zonas ATEX, la cual debe ser suficientemente rigurosa, pero no de forma excesiva. Por ejemplo, no es correcto clasificar una nave de 10 metros de altura como zona 22 porque hay o puede haber polvo inflamable en el suelo, ya que la consecuencia directa de ello es que la iluminación e instalación eléctrica de la misma debe ser de categoría 3D, la cual en el futuro sólo puede ser reparada por un instalador autorizado. Por tanto, esta «sobrezonificación» innecesaria está llevando al usuario a un sobre coste evitable.

Identificado el riesgo de ATEX, debemos tomar las medidas de prevención de la ignición de esta atmósfera explosiva. La más típica es la eliminación de las fuentes de ignición mediante la modificación de la instalación con equipos adecuados a la zona ATEX y el establecimiento de procedimientos de trabajo seguros.

La primera actuación que debe llevar a cabo el empresario es la formación e información de sus trabajadores, ya que esto incide en una reducción drástica del peligro.

También se deberían instaurar, si no se dispone de ellos, permisos de trabajo, con especial hincapié en los trabajos en caliente (de corte y soldadura).

El siguiente paso es el conocimiento de todas las técnicas preventivas de fuentes de ignición y ver cuáles son aplicables a nuestro proceso. Por ejemplo, si queremos limitar las chispas de origen mecánico, la limitación de la velo-



cidad de giro puede ser una medida muy eficiente, un imán a la entrada de un molino puede evitar la entrada de clavos, etc.

Así, si controlamos las fuentes de ignición, debemos ver dónde tenemos atmósferas explosivas permanentes y si éstas son un peligro para las personas en caso de explosión.



Para el control de las consecuencias dañinas de la explosión existen dos tipos de técnicas: pasivas y activas.

Las técnicas pasivas consisten en el control de la evolución de la presión mediante la instalación de dispositivos de alivio, como son los paneles de venteo contra explosiones y las puertas de explosión. A su vez, debemos reconducir las llamas hacia una zona segura, y si este equipo está en el interior, debemos conducir las al exterior o bien emplear un venteo con apagallamas.

El venteo de explosiones requiere de un área determinada. Para su cálculo existe la norma UNE EN 14491 para polvo o la UNE EN 14994 para gases, con la cual podemos dimensionar y determinar la distancia de seguridad. El área depende de la sustancia en cuestión (su explosividad), de la resistencia del recipiente, de su geometría y volumen, de si el venteo es conducido y de la longitud y forma de este conducto. Existen pro-

El venteo de explosiones debe considerar las distancias de seguridad de las llamas y de las presiones.



Dispositivo de venteo sin llamas.

gramas que permiten un cálculo rápido y fiable (como el LPGVENT).

Estas técnicas de venteo de explosiones deben considerar las distancias de seguridad de las llamas y de las presiones, las cuales dependen del volumen y de la presión del recipiente.

Las técnicas activas consisten en el control de la emisión de la energía, es decir, en parar la evolución de la deflagración. Esto se consigue mediante sistemas de supresión de explosiones, que requieren de un sistema de detección óptico o de presión y de unos contenedores supresores, los cuales liberan muy rápidamente un agente extintor en el medio, frenando el avance de la explosión.

En los procesos industriales es muy importante el aislamiento de la explosión para evitar así las temidas explosiones secundarias, que pueden causar los mayores daños sobre una instalación.

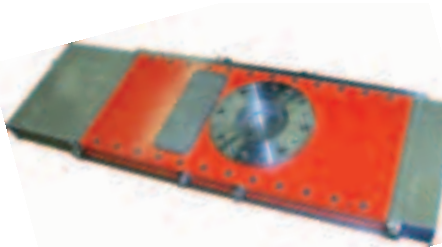
Este aislamiento puede ser de tipo químico o mecánico, empleándose uno u otro en función de las características de cada instalación.

Así pues, es importante prevenir y proteger de las explosiones a las personas y a las instalaciones. No obstante, una protección no es completa si no prevenimos que una explosión dará lugar a un incendio, o que un incendio en una zona ATEX dará lugar a una explosión.

Partiendo de que conocemos la presencia de ATEX, de su probabilidad de formación y de que conocemos las técnicas existentes de prevención y protección contra explosiones, surge la interrogante principal: **¿Cuándo debo protegerme y cuándo no?** La respuesta es «depende». ¿Pero de qué? De la probabilidad de coexistencia de fuentes de ignición efectivas y ATEX.



Sistema de supresión en molinera de azúcar.



Válvula de aislamiento de explosiones.

Aquí surgen dos conceptos:

Coexistencia. Por ejemplo, si tenemos que soldar un depósito de gasolina, lo primero que tendremos que hacer es eliminar la ATEX del depósito, para que una vez inertizado o vaciado y limpiado, se pueda soldar con seguridad; así no coexistirán la fuente de ignición y la ATEX.

Fuente de ignición efectiva. Si un sólido tiene una energía mínima de inflamación (EMI) muy alta, superior a 1 julio, podemos descartar que una descarga electrostática lo prenda. Por el contrario, los vapores de un líquido inflamable sí que necesitan energías de inflamación inferiores a un milijulio y, por tanto, la electricidad estática es una fuente de ignición efectiva.

La gran duda que surge es si podemos estar seguros de que coexistan fuente de ignición y ATEX. Aquí es donde tenemos que tomar una decisión. En algunos supuestos es muy claro y en otros no tanto. En estos casos juega un papel muy importante la experiencia que tiene la empresa, es decir, la de incidentes sufridos en la planta y/o en el sector.

Por ejemplo, si volvemos al estudio sobre las explosiones de polvo en la industria cerealista de Estados Unidos, advertimos unos puntos críticos: los molinos y los elevadores de cangilones. Se han analizado los elevadores dado que una explosión de éstos tiene unas consecuencias muy graves, ya que probablemente su explosión se propague a un silo y, en consecuencia, a toda la fábrica (tablas 4 y 5).

Analizando los datos anteriores se constata una reducción de casos desde la entrada en vigor de la legislación al respecto en Estados Unidos. Comparando los periodos 1978-1982 y 1993-1997, las explosiones descienden en un 71%, los heridos en un 91% y las muertes en un 95%, siendo claramente la mayor causa de explosión en esta industria el elevador de cangilones. En los primeros años tene-

Tabla 4. Sobre el total de explosiones producidas.

Estadística	1978-1982	1983-1987	1988-1992	1993-1997
Explosiones	25	18	11	14
Heridos	50	19	7	11
Muertes	20	3	2	1

Tabla 5. La causa es el elevador de cangilones.

Estadística	1978-1982	1983-1987	1988-1992	1993-1997
Explosiones	21	12	8	6
Heridos	47	10	7	4
Muertes	19	2	2	1

mos un 84%, hasta llegar a un 43 % en el último periodo.

Está muy claro que las actuaciones preventivas sobre el equipo con más siniestralidad (el elevador) han dado sus frutos. Aunque habría que profundizar más, ya que una planta puede tener un centenar de elevadores, no siendo todos iguales ni teniendo el mismo riesgo en cuanto a ignición o sus consecuencias. Habría que determinar qué elevadores son los típicos causantes: ¿los de recepción? ¿los que recirculan los cereales almacenados? ¿los que llenan los silos? ¿los que alimentan a producción? ¿los altos o los bajos? ¿los de caña ancha o estrecha? ¿los que funcionan siempre o los que lo hacen ocasionalmente? ¿los de una caña o los de dos?, etc... Si nos planteamos las diferencias de los distintos elevadores, veremos que hay unos con más casuística y otros con mayores consecuencias. Pero sólo vamos a poder responder correctamente si entendemos el fenómeno de la combustión y lo aplicamos a nuestra instalación.

Desafortunadamente, no existen en Europa estudios de este nivel en otros sectores e incluso es muy difícil conseguir estadísticas generales. No es así en Estados Unidos, donde el U.S. Safety Chemical Board ha identificado duran-

te el periodo 1980-2005 unas 281 explosiones de polvo, que han ocasionado un total de 119 trabajadores muertos y 718 heridos.

A continuación vamos a dar unas pautas a seguir en este campo. Primera pregunta que debemos responder:

¿Cómo puede deflagrar la sustancia?

El polvo para deflagrar tiene que entrar en ignición mientras está en forma de nube, es decir, en suspensión. Por tanto, las deflagraciones son muy peligrosas en aquellas instalaciones con depósitos de polvo, ya que el frente de presión pone en suspensión estas capas, las cuales son inflamadas por el frente de llamas que va detrás del de presión.

Tabla 6. Fuentes de ignición por sectores.

	% en industria general	% en industria plásticos
Chispas mecánicas	26,1	21,2
Brasas o chispas	11,3	9,6
Calentamiento mecánico	8,9	9,6
Descarga electrostática	8,7	34,6
Fuego	7,8	'--
Auto-combustión	4,9	'--
Superficie caliente	4,9	3,9
Soldadura y trabajos calientes	4,9	'--
Equipo eléctrico	2,8	'--
Desconocido	16,0	11,5
Otros	3,5	9,6

Fuente (4), En función del sector los equipos a proteger varían.

Tabla 7. Equipos donde se producen explosiones de polvo por sectores.

Equipos	% incidentes industria en general	% incidentes industria de la madera	% incidentes industria metal	% incidentes industria alimentaria
Silos	20,2	35,9	'--	22,9
Filtros de mangas	17,2	18,0	45,6	9,5
Molinos	13,0	7,0	5,3	18,1
Transportadores	10,1	4,7	'--	26,7
Secadores	8,0	'--	'--	7,6
Mezcladoras	5,4	'--	3,5	'--
Granalladoras	4,5	3,9	22,8	'--
Cribas	2,8	4,7	3,5	2,8
Otros	14,1	25,80	19,30	12,40

Fuente (4), En función del sector los equipos a proteger varían.

La primera medida preventiva sobre los riesgos ATEX es la formación de los trabajadores, ya que su efectividad es alta

Sobre la peligrosidad de la sustancia debemos conocer su caracterización, es decir, su sensibilidad a la inflamación y la severidad de su deflagración.

Si se produce una explosión, ¿dónde se iniciará y dónde se producen las consecuencias más catastróficas?

Es fundamental la identificación de equipos con potenciales fuentes de ignición y/o ATEX y el análisis de las consecuencias en caso de explosión, teniendo en cuenta que esto puede variar en función del sector.

Las fuentes de ignición pueden ser varias y con mayor predominancia en función del sector (tabla 6).

Sí conocemos los típicos equipos donde se producen explosiones de polvo (tabla 7). Éstos son filtros de mangas, los citados elevadores de cangilones, molinos, silos, atomizadores, sinfines, lechos fluidificados, transportadores, mezcladoras, etc... En definitiva, todos aquellos equipos que pueden causar chispas de origen mecánico y o eléctrico, pero que contienen ATEX.

Así pues, el primer punto es identificar las zonas con presencia permanente de ATEX, es decir, las zonas 20 para polvo ó 0 para gas, ya que si aparece una fuente de ignición tendremos una deflagración. Estas zonas 20 o 0 sólo se formarán en el interior de los equipos. Después, las de presencia ocasional 21 o 1, para seguir con las de zonas de rara presencia de ATEX 22 o 2.

El criterio es invertir en medidas preventivas de fuentes de ignición en zonas 20 y 21. Quiero recordar que la primera

Age Fotostock



medida preventiva debe ser la información y formación de los trabajadores sobre los riesgos de ATEX, ya que la efectividad de esta medida es alta.

Cuando las medidas preventivas no reduzcan suficientemente el riesgo de aparición de fuentes de ignición efectivas, entonces debemos pasar a la protección. Así, debemos proteger las zonas 20 y las 0, o reducirlas a 21 o 1 mediante inertización. Un resumen de lo anterior se encuentra en la tabla 8.

Para ilustrar lo anterior, sirvan algunos ejemplos:

Tabla 8.

ZONA	Medidas a adoptar
0 ó 20	Prevención y Protección
1 ó 21	Prevención
2 ó 22	Prevención y formación

1. Pongamos por caso una planta que procesa cereales (por ejemplo, una harinera). Dispone de varios elevadores, muchos molinos, varias cribas, muchos silos, algunos filtros. ¿Por dónde empezamos? Por el principio, por el trigo:

- ¿Cuál es su origen? ¿Lo tengo bajo control? Si viene directamente del campo con piedras, hierros y objetos extraños, en este caso el elevador de piqueras deberá protegerse y aislarse contra explosiones, ya que no podemos tener la certeza de que un día venga, además de trigo, «algo más».
- ¿El trigo viene después de una limpieza y desempolvado? En este caso, no deberíamos tener polvo en el elevador; por tanto, su interior es zona 21, por lo que con la aplicación de medidas preventivas deberíamos tener una seguridad suficiente.

Si analizamos los molinos, constatamos que morturan el trigo limpio. Aun así, se efectúa una separación de objetos metálicos y extraños que debería ser suficiente, siempre y cuando se lleve a cabo el mantenimiento adecuado de estas medidas preventivas, ya que el interior de un molino acostumbra a ser zona 21, puesto que está «muy lleno» y no hay espacio para poner el polvo en suspensión.

En cuanto a los filtros, el filtro de piqueras puede captar una brasa, por ejemplo, una colilla. Al no tener control sobre este aspecto, debemos proteger y aislar este filtro contra explosiones. Otros filtros peligrosos son aquellos que captan el polvo de varios puntos, por ejemplo desde de varias máquinas, ya que la probabilidad de fuente de ignición se multiplica exponencialmente. Sería aconsejable su protección y aislamiento.

Asimismo, si los filtros se utilizan para limpieza, tienen el riesgo de que pueden captar objetos extraños, incluidas las prohibidas colillas. También es aconsejable proteger e instalar en el exterior, lejos, dado que acostumbran a tener líneas de aspiración muy pequeñas (DN 80 – 50) y trabajan a mucho vacío. Si se instalan lejos de sus puntos de uso, es muy difícil que se propague la explosión hasta el personal que lo utiliza.

Conocer la explosividad de la sustancia, identificar los equipos con riesgo, evaluación económica de medidas y definición de prioridades, son las fases de una correcta pauta de actuaciones

Con los silos antiguos surge un gran problema, ya que «no se conoce su resistencia», dato básico para el dimensionamiento de los paneles de venteo. Por ello, debemos trabajar para evitar que se produzcan fuentes de ignición, es decir, todas las intervenciones que realice el personal tendrán que hacerse con permisos de trabajo especiales, en particular si vamos a soldar. Asimismo, debemos aislar una potencial explosión del mecanismo de llenado, típicamente un elevador, que será aislado contra explosiones.

Como se aprecia, los criterios se basan en el conocimiento del funcionamiento de la instalación. Insisto, no hay que olvidar la formación de los trabajadores.

2. Otro ejemplo muy distinto sería una molienda de carbón. El carbón, al ser de origen mineral, no viene puro y trae consigo piedras que en la molienda pueden dar origen a una explosión. Dado que la presencia de estas piedras es inevitable, debemos inertizar el proceso en continuo. ¿Cómo? Pues con los propios gases de combustión del quemador. Inertizar significa reducir el porcentaje de oxígeno del 21% existente en el aire al 12%, que es el valor de la concentración límite de oxígeno (CLO).

En esta molienda las chispas de origen mecánico no son la única fuente de ignición. Otra fuente sería la autocombustión del carbón finamente molido que tiende a oxidarse, dando como resultado una atmósfera «pobre en oxígeno» y generándose monóxido de carbono (CO). En ca-

so de que este CO existente en el proceso supere los límites de 1.500 ppm., deberíamos activar la inertización de emergencia con CO₂. Otro indicador de este proceso de autocombustión es el incremento de temperatura: si ésta supera los 80°C, también activaríamos el CO₂, ya que se corre el riesgo de incendio y/o explosión.

Aun así, los molinos y filtros de mangas del proceso se protegen mediante puertas de venteo, ya que en caso de explosión alivian la presión inicial y vuelven a cerrar, puesto que el sólido es muy combustible y es importante que no entre aire del exterior.

En resumen, debemos:

- **Conocer la explosividad de la sustancia** o sustancias. Si disponemos de varias, se tomará la más peligrosa.
- **Identificar equipos con riesgo**, priorizando la prevención y la protección en función de su probabilidad de fallo y la coexistencia con ATEX.
- **Evaluar económicamente** el coste de las medidas a adoptar (inversión frente a mejora de la seguridad).
- **A la vista de lo anterior, definir las prioridades.**

Siguiendo estos cuatro pasos habremos establecido un criterio de prevención y protección de explosiones en nuestra instalación. ♦

PARA SABER MÁS

- [1] Dust explosions in the industrial process, Dr. Rolf K. Eckhoff.
- [2] Seguridad industrial en atmósferas explosivas, Dr. Javier García Torrent.
- [3] The RASE Project, Dr. Richard L. Rogers.
- [4] Dust explosion prevention and protection, Geoff Lunn.
- [5] Prevención y protección de explosiones de polvo en instalaciones industriales, Xavier de Gea.
- [6] Executive summary, Regulatory review of OSHA'S grain handling facilities standard - [29 CFR 1910.272].
- [7] ¿Prevención o protección de explosiones de polvo? Algunos criterios. M. Coupin y Dr. B. Broeckmann.