

Un riesgo olvidado:



LA EXPLOSION

DENTRO del campo de la Seguridad contra Incendios en nuestro país, quizá sea el riesgo de explosión el menos conocido y probablemente el menos divulgado. Bien es cierto que la siniestralidad en los sectores afectados es baja o, por mejor decir, de costes relativamente bajos, por ello, tanto el sector asegurador como el de ingeniería y montaje de protección contra incendios, ha considerado este tipo de riesgo —por otra parte, de elevada tecnología— como algo marginal e incluso anecdótico, lejano al entorno que nos rodea.

Sin embargo, son muchos los sectores industriales donde este riesgo está patente, y, aunque desconozco estadísticas a nivel nacional y si éstas existen, estoy seguro de que las cifras son bastante más respetables de lo que en principio podría pensarse. Hay que tener en cuenta, además,

RAMON LARA GOMEZ

Subdirector de SESYC.

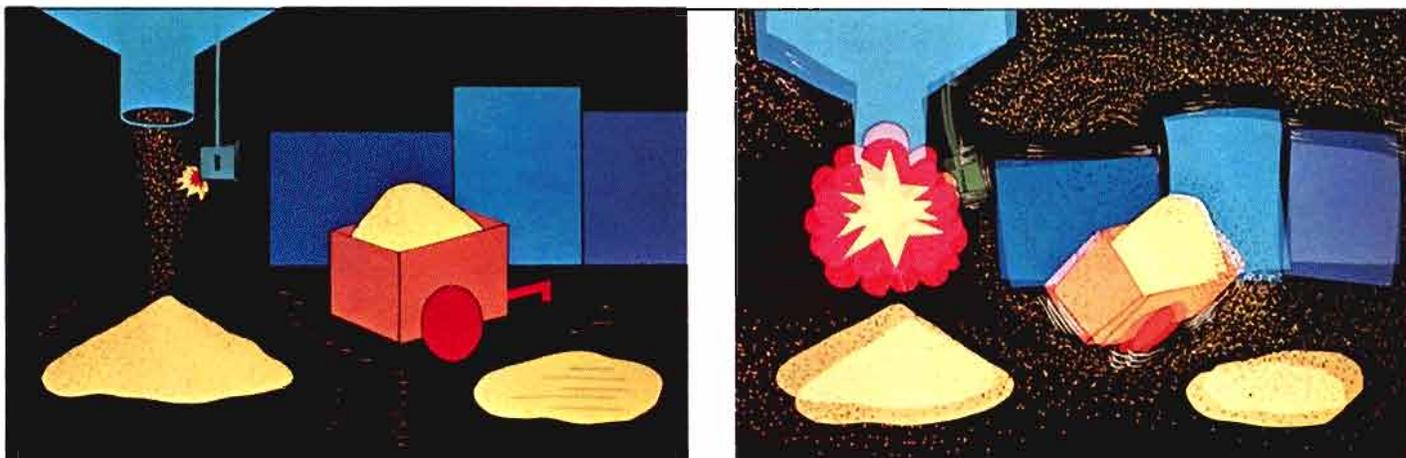
En USA el 15 por 100 de todos los fuegos y explosiones en industrias, tienen como origen líquidos inflamables

que muchos siniestros que se contabilizan como incendios han tenido su origen en una explosión que, como más adelante veremos, no es más que un incendio de características especiales.

Hay que considerar, además, que la probabilidad de una explosión es función de muchos factores y que, en determinadas condiciones, pueden explotar productos en cualquier estado físico (sólidos, líquidos y gaseosos) o combinación de los mismos.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EXPLOSION

Es evidente que el riesgo de explosión se presenta en unas determinadas condiciones y que, en cualquier caso, nos encontraremos con un foco inicial o «fuente de ignición»



Dadas las limitaciones de un artículo, citaremos a continuación, sin definir, las propiedades que en general influyen en un riesgo de esta naturaleza:

- Punto de inflamación (Flash point)
- Punto de incendio (Fire point).
- Límites de inflamabilidad (Inferior —LEL— y superior —UEL—).
- Temperatura de autoignición.
- Probabilidad de autocalentamiento.
- Peso específico.
- Densidad de vapor.
- Punto de fusión.
- Punto de ebullición.
- Miscibilidad en el agua.

Se observa que las propiedades enumeradas son comunes y relativamente fáciles de localizar, sin embargo, es necesario advertir que no siempre serán valores constantes, pues las variaciones del estado físico de los productos considerados pueden afectar a algunas de las propiedades citadas. En caso de dudas deberán realizarse pruebas con una muestra significativa, para poder determinar los parámetros de dudoso valor (normalmente los puntos de inflamación e incendio y la temperatura de autoignición).

Varios han sido los organismos a nivel internacional que han tabulado diversos productos en función de las propiedades anteriores, así como establecido una clasificación del riesgo, más o menos definida, que permite establecer las bases de diseño de las medidas de protección

ANÁLISIS DEL RIESGO

Vamos a describir a continuación las características generales del ries-

go en función del estado físico del producto, prescindiendo de posibles mezclas que, lógicamente, deberán estudiarse de forma diferenciada

Gases

Es, probablemente, el riesgo más claro en cuanto a explosión se refiere. Normalmente son productos perfectamente definidos tanto en su composición como en sus formas de utilización, lo que facilita enormemente el diseño de las medidas de protección.

Con objeto de facilitar el estudio de estas medidas estableceremos, de forma un tanto arbitraria, la siguiente clasificación:

- Gases licuados de petróleo (GLP).
- Gas natural y de ciudad.
- Gases industriales

Los gases de cada uno de estos tres grupos tienen, a su vez, diversas características que pueden requerir análisis particulares, pero, en principio, presentan una analogía en cuanto a almacenamiento, transporte y manipulación, que justifica en cierta medida la amplitud y arbitrariedad de la clasificación

En principio, el riesgo en cada uno de los grupos está bastante definido y, tanto en su almacenamiento como manipulación, ha de evitarse la presencia de una «fuente de ignición» que desencadene una explosión, así como incurrir en condiciones, fundamentalmente de almacenamiento, que puedan producir la explosión en función de las características físicas del producto (recuérdese el tristemente famoso accidente de Los Alfaques)

Así pues, por su importancia, definiremos el índice de llenado como el

porcentaje de depósito (en volumen) que el líquido debe ocupar, definido por la fórmula:

$$V = \frac{D}{P_s \times C_t}$$

en donde:

- V = índice de llenado;
- D = densidad de llenado (en % a 15° C);
- P_s = peso específico del producto en fase líquida (a 15° C);
- C_t = factor de corrección (función de la temperatura).

Los valores de los parámetros arriba indicados están tabulados para, prácticamente, todos los GLP.

En cuanto a los gases industriales, deberán estudiarse sus características de forma individualizada

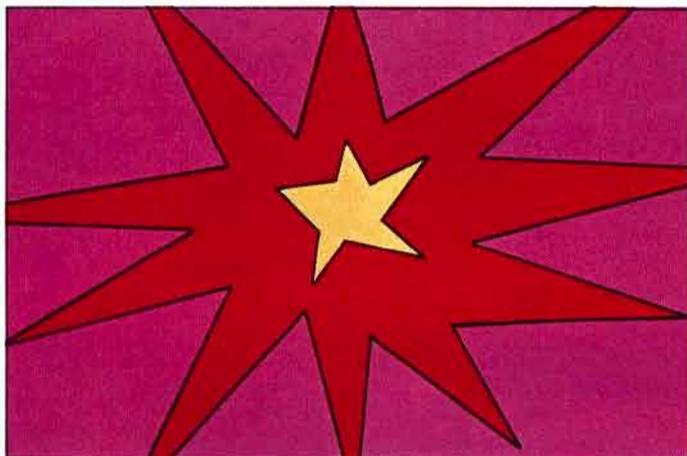
Líquidos

Los líquidos inflamables son productos que en condiciones normales pueden arder con gran rapidez. Los vapores producidos por ellos, en combinación con el aire, pueden formar mezclas que explotan con gran violencia. Se puede llegar a dar el caso de productos que arden en ausencia de «fuentes de ignición», por autocalentamiento o reaccionando con otros productos (incluso el agua).

Como dato estadístico, en USA el 15 por 100 de todos los fuegos y explosiones en industrias, tienen como origen líquidos inflamables

El posible peligro depende, en estos casos, de la cantidad e inflamabilidad del producto, su mezcla con aire en algún punto de proceso, así como sobreflujos accidentales y posibles fuentes de ignición.

La combinación rápida de los vapores de un líquido inflamable y el



Las explosiones de polvos combustibles, son del tipo deflagración, asociándose al frente de llamas que propaga la inflamación una onda de presión que pese a su pequeño valor (comprendido normalmente entre 0,1 y 10 kg/cm²), representa valores destructivos al actuar sobre una superficie

1. DEFLAGRACION INICIAL
2. CREACION DE UNA GRAN NUBE DE POLVO
3. EXPLOSION SECUNDARIA

aire da lugar a una explosión, produciéndose luz y calor con un incremento simultáneo de la presión. En estos casos, la combustión es muy rápida, propagándose la llama a través de la mezcla explosiva, muy rápidamente asociada a un frente de presión que puede alcanzar de seis a ocho veces la presión absoluta inicial.

Así pues, el riesgo de explosión existe en recipientes y reactores (frecuentes en las industrias químicas, petroquímicas y farmacéuticas), dependiendo de la temperatura, producto, naturaleza del proceso, etcétera, pudiendo ser la fuente de ignición de naturaleza externa (chispas, calentamiento por fricción, etcétera) o interna (reacciones químicas incontroladas, variaciones de concentración, etcétera).

Sólidos

La posibilidad de que se produzca la explosión de un producto sólido depende, en primer lugar, de su grado de disgregación. Algunos sólidos, inicialmente inofensivos, al estar divididos finamente, arden de forma violenta. Así pues, su manipulación implica un riesgo que será necesario evaluar.

Pero su posible ignición depende, además, de los siguientes factores:

- Composición química del producto.
- Tamaño, forma y estructura superficial de las partículas
- Composición química del medio (generalmente aire).
- Presión y temperatura inicial.
- Cantidad de energía necesaria para iniciar la explosión.
- Uniformidad de la suspensión en el medio.

— Concentración del polvo por encima del LEL (límite inferior de inflamabilidad).

El límite inferior de inflamabilidad (LEL) se define como la concentración mínima de polvo combustible que puede propagar una llama. Un valor promedio del mismo es del orden de 65 gr/m³.

La intensidad de una explosión de este tipo es función del gradiente de presión y de la máxima presión resultante, dando lugar, consecuentemente, a resultados más o menos catastróficos, que dependen de la intensidad térmica y mecánica propios de este tipo de accidentes

Las explosiones de polvos combustibles son del tipo deflagración, asociándose al frente de llamas que propaga la inflamación, una onda de presión que, pese a su pequeño valor (comprendido normalmente entre 0,1 y 10 kg/cm²), representa valores destructivos al actuar sobre una superficie.

Son frecuentes las explosiones en cadena, pudiendo crear la primera de ellas (de pequeño valor) la turbulencia necesaria para dispersar polvo adicional que facilite las reacciones posteriores. Es más, un polvo puede ser peligroso aun en concentraciones inferiores al LEL, dada la dificultad de conseguir mezclas homogéneas en la vehiculación de un sólido pulverulento como consecuencia de las turbulencias producidas por los cambios de dirección, etcétera.

El cualquier caso, las causas más frecuentes («fuente de ignición») de este tipo de explosiones son las chispas (más de 50 por 100) y los sobrecalentamientos locales y electricidad estática (aproximadamente el 15 por 100).

En resumen, hemos analizado bre-

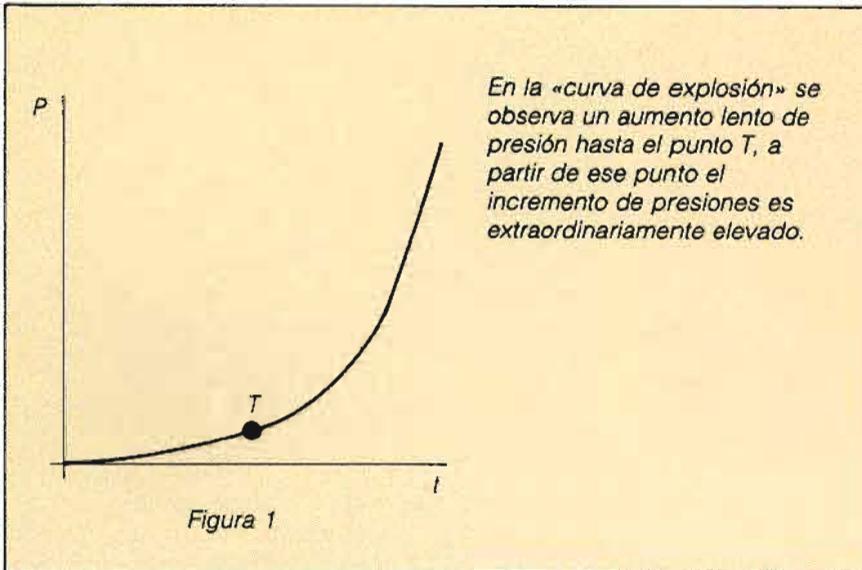
vemente el riesgo de explosión en función del estado físico del producto, siendo conveniente aclarar que en cuanto a líquidos y gases intuitivamente se previene el riesgo, no así en el caso de sólidos en que la noción de peligrosidad parece más alejada. En cualquier caso, el riesgo de explosión es perfectamente controlable una vez conocido el producto y las características del proceso o procesos a que es sometido.

LA EXPLOSION

Contrariamente a la creencia popular, una explosión tiene principio y fin, es decir, no es un fenómeno instantáneo. Una explosión es el resultado de la rápida expansión de los gases causada por el calor producido por el producto al arder, es decir, se caracteriza por una rápida liberación de energía.

Vemos, pues, que se producen dos acciones separadas y perfectamente diferenciadas: un producto que arde (frente de llamas) y unos gases que se expansionan violentamente (frente de presión). Esta súbita elevación de presión ocurre en un corto espacio de tiempo, que puede ser del orden de 0,03 segundos. La onda de presión se propaga por el medio a la velocidad del sonido, adelantándose al frente de llamas, ya que éste se propaga, lógicamente, a la velocidad de combustión, característica que depende del producto y del medio.

En la figura 1 vemos la curva presiones-tiempos del desarrollo de una explosión (curva de explosión). Se observa que, en una primera etapa, el incremento de presión es lento, en tanto que a partir del punto T, el incremento de presión es extraordinariamente elevado.



Para sustancias tales como acetileno o hidrógeno, dicha velocidad es extremadamente alta (del orden de 9 a 15 m/s) en su etapa inicial, en tanto que para la gasolina y otros hidrocarburos puede ser considerada de rango medio (1 a 5 m/s). De lo anterior se deduce que la «curva de explosión», aunque de la misma forma, será función de la velocidad de propagación de la flama en el medio.

Evidentemente, la naturaleza del producto afectará de forma general al desarrollo de la explosión.

Bajo condiciones ideales, una mezcla estequiométrica de un hidrocarburo con aire al producirse una explosión, experimentará una expansión de, aproximadamente, ocho veces el volumen inicial (valor aproximado, válido para la mayor parte de los vapores inflamables que se usan en la industria). En consecuencia, una explosión con presión inicial de un bar, alcanzará una presión máxima de alrededor de ocho bares.

En el caso de explosiones de productos sólidos (pulverulentos) es mucho más difícil buscar un valor relativo como el antes indicado, aunque, en principio, son teóricamente menos violentas. La expectativa de incremento de presión puede situarse en alrededor de cinco bares sobre la presión inicial (un bar).

Así pues, en la figura 2 hemos establecido una comparación entre las «curvas de explosión» para líquidos inflamables y polvos, a la que, evidentemente, hemos de darle un valor relativo, ya que, desde un punto de

vista estricto, el riesgo de explosión no puede ser definido de forma general.

Según hemos visto anteriormente, y se deduce de una simple observación de la «curva de explosión», de un vapor o polvo mezclado generalmente con aire, el desarrollo inicial del incremento de presión es lento, hasta alcanzar un valor en el que la pendiente de la curva sigue una ley cúbica y, por tanto, una variación muy rápida. Teniendo en cuenta que los incrementos de presión, antes citados, se producen dentro de un tiempo con rango de milisegundos, ello induce a creer en la instantaneidad de la explosión. Sin embargo, es posible conocer y determinar en laboratorio la curva de explosión de los productos, así como el valor de diversos parámetros (temperaturas, con-

centraciones, etcétera) que influyen decisivamente en una explosión.

EVALUACION DEL RIESGO

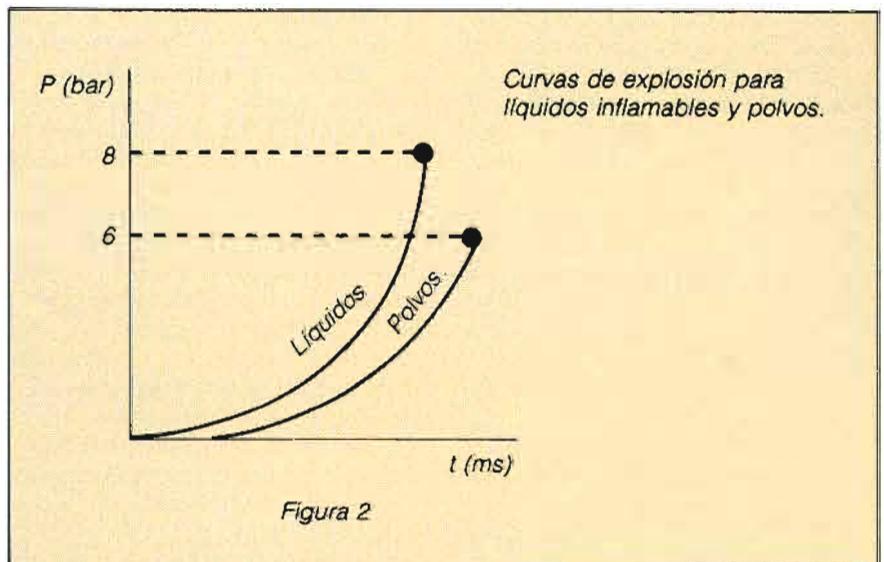
Sin intentar profundizar en un punto de tanta trascendencia, puesto que de la apreciación de determinadas características del producto pueden derivarse acciones de control y protección, analizaremos por separado el riesgo de explosión de sólidos y líquidos. Permitaseme, sin embargo, hacer una breve introducción histórica.

Durante y después de la Segunda Guerra Mundial, las Royal Air Forces (RAF) estudiaron y evaluaron las pérdidas de aviones, descubriendo que un elevado porcentaje de ellas eran el resultado de explosiones debidas a proyectiles que habían «tocado» las proximidades de los depósitos de combustibles, fundamentalmente cuando estaban vacíos. El Royal Aeronautical Establishment estudió el problema basándose fundamentalmente en los aumentos de presión producidos por el impacto sobre los vapores del combustible, llegando a la conclusión de que era posible controlar y detener la explosión.

Estudios posteriores establecieron que el conocimiento de determinados parámetros era básico para la evaluación del riesgo.

Sólidos

El sistema utilizado más frecuentemente, es el método empírico introducido por U. S. Bureau of Mines, basado en el índice de explosividad y de-



finido de la forma siguiente:

$$I_e = S_i \times S_e$$

en donde:

- I_e = índice de explosividad;
- S_i = sensibilidad a la ignición;
- S_e = severidad explosiva.

Vemos, pues, que hemos definido el citado índice de explosividad como el producto de dos parámetros que miden dos aspectos diferentes del riesgo que, por otra parte, estaría suficientemente evaluado por la sensibilidad a la ignición (probabilidad de que se produzca la explosión). Un valor elevado de esta última indica que es muy probable que ésta se produzca, y nos obligaría a tomar medidas encaminadas a evitar la explosión, en tanto que la severidad explosiva mide las consecuencias del accidente.

Ambos índices, se han determinado para un polvo como cociente de varias características del mismo en relación a un polvo patrón previamente establecido, el «carbón de Pittsburgh»; así pues, ambos parámetros se definen como:

$$S_i = \frac{\text{(carbón de Pittsburgh)} \quad t_i \times c_a \times e_i}{\text{(polvo estudiado)} \quad t_i \times c_a \times e_i}$$

$$S_e = \frac{\text{(polvo a investigar)} \quad P_a \times G_p}{\text{(carbón de Pittsburgh)} \quad P_e \times G_p}$$

en donde:

- t_i = temperatura mínima de ignición;
- c_a = concentración mínima de explosión;
- e_i = energía mínima de ignición;
- P_a = presión máxima de explosión;
- G_p = gradiente máximo de presión

Como el lector observará, representamos los valores mínimos con letras minúsculas, y los máximos con mayúsculas.

Este índice de explosividad, se relaciona empíricamente con el riesgo de explosión según el siguiente cuadro:

S_i	S_e	I_e	RIESGO
< 0,2	< 0,5	< 0,1	Bajo
0,2 + 1	0,5 + 1	0,1 + 1	Moderado
1 + 5	1 + 2	1 + 10	Fuerte
> 5	> 2	> 10	Desastroso



Obsérvese que sólo el índice de explosividad no da una información completa sobre el producto considerado, ya que al definirse como producto de otros dos puede ocurrir que uno tenga un valor elevado y otro un valor bajo, siendo su producto bajo. En este caso las medidas deberán adoptarse en función de cuál de los dos parámetros, S_i o S_e , es más elevado.

Líquidos

En estos casos, son el punto de inflamación y los límites de explosividad, especialmente el inferior (LEL), los determinantes del riesgo y, por tanto, es básico el conocimiento de la concentración de vapor para que la mezcla sea explosiva.

El punto de inflamación está tabulado en la mayoría de los casos, normalmente determinado en laboratorio en «copa cerrada». Una forma aproximada de cálculo es:

$$t_i = 0,683 t_e - 72$$

en donde:

- t_i = punto de inflamación en «copa cerrada» (°C);
- t_e = punto de ebullición inicial (°C).

El cálculo de la cantidad de aire requerido para mantener la mezcla con un producto por debajo de LEL, depende de la cantidad de vapor producido por dicho producto. El cálculo basado en una temperatura ambiente de 21°C puede hacerse de la siguiente forma:

- a) Determinar la cantidad de vapor producida

$$V_e = 3.152 \frac{q_e}{d_r}$$

en donde:

- V_e = cantidad de vapor (en litros) producida por evaporación de un litro de producto;
- q_e = peso específico del producto;
- d_r = densidad de vapor del producto.

- b) Cálculo de la cantidad de aire para mantener la mezcla por debajo del límite inferior de explosividad:

$$V_m = \frac{V_e \times 100}{LEL}$$

en donde:

- V_m = volumen de aire (en litros) mínimo para mantener la mezcla por debajo del LEL;
- V_e = cantidad de vapor (en litros) producida;

LEL = límite inferior de explosividad (Low explosive limit). En cualquier caso, se recomienda mantener la concentración de aire al 25 por 100 del LEL, es decir, cuatro veces superior al valor hallado en el apartado b).

Así pues, conocidos t_i y V_m , conocemos el riesgo de explosión de un líquido inflamable. De forma orientativa, podemos decir que la cantidad de aire necesaria para diluir el vapor producido por un litro de líquido volátil, es decir, para mantenerlo debajo del LEL, es del orden de 19.000 litros. Por otra parte, el riesgo de explosión existe en espacios cerrados cuando el líquido tiene un punto de inflamación de 43°C o menos, y es calentado más de 15°C por encima de él. De todas formas, las condiciones del proceso influyen decisivamente en el riesgo de explosión.

PREVENCIÓN DEL RIESGO

Una vez conocido el riesgo y convenientemente evaluado, entramos de lleno en el diagnóstico previo de las potenciales fuentes de ignición y como consecuencia de ello en las medidas de prevención y protección a adoptar.

Es evidente que la energía requerida para la ignición de una mezcla combustible/aire dentro de un proceso, dependerá de las características del mismo y de las condiciones ambientales. Normalmente se mantiene un margen de seguridad, aunque hay ciertos procesos que, aunque contro-

lados, son fuertemente dependientes de determinadas condiciones con una banda muy estrecha de maniobrabilidad y, por tanto, potencialmente más peligrosos. En todos los casos la energía se manifiesta en tres formas básicas, a saber:

- Energía mecánica.
- Energía eléctrica.
- Energía térmica.

Estas pueden presentarse dentro del proceso aleatoriamente, lógicamente, en función de las características mecánicas y estructurales del mismo.

Un punto de interés es ¿dónde comienza la explosión? ¿Empieza donde ocurre la primera explosión o en otro lugar donde encuentra determinadas condiciones?. La contestación a estas preguntas será el punto de partida para la adopción de medidas de protección y prevención.

Para un adecuado control de una explosión, se pueden considerar diferentes sistemas de protección que resumiremos a continuación

a) Estructurales: estructuras resistentes, estructuras fácilmente eliminables.

b) Mecánicos (proceso): ventilación para dilución de vapores, compuertas para alivio de presión. Válvulas de seguridad. Discos de rotura.

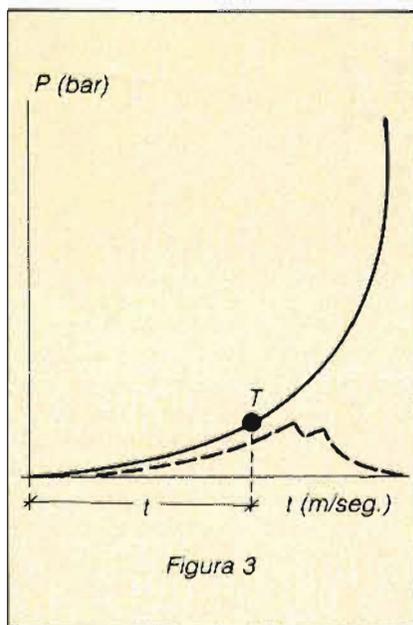
c) Ambientales: creación de atmósferas inertes, dilución de vapores.

d) Sistemas automáticos de supresión de explosiones.

Normalmente la adopción de estas medidas depende de las características del riesgo, del proceso y de las consecuencias de la previsible explosión, pudiendo adoptarse —de hecho así ocurre normalmente— una combinación de los sistemas anteriormente enumerados

SUPRESION DE EXPLOSIONES

Por su interés analizaremos a continuación, de forma esquemática, los sistemas automáticos de supresión de explosiones. Como el lector recordará e indicamos en la figura 1, la «curva de explosión» de un producto es determinante del desarrollo de la misma. Recordemos que inmediatamente después de la ignición, la presión comienza a elevarse relativamente despacio. Si dentro del interva-



lo de tiempo en que ésta no alcanza valores destructivos conseguimos detectarla y, lo que es más importante, suprimirla, habremos alcanzado el éxito. Lo anteriormente expuesto, se traduce gráficamente en la figura 3.

Teniendo en cuenta que los valores destructivos se alcanzan aproximadamente en el punto T, quiere decirse que el intervalo máximo de que disponemos para detección y extinción, es t. Como no conviene apurar dicho tiempo, algunos milisegundos antes debe haberse conseguido interrumpir el desarrollo de la explosión. La línea de puntos indica el citado desarrollo tras la actuación del sistema automático de supresión.



Existen diversos métodos para conseguirlo, que pueden utilizarse solos o conjuntamente, a saber:

- a) Inhibición química.
- b) Refrigeración.
- c) Aislamiento.
- d) Inertización.
- e) Alivio de presión

No creo conveniente, por su extensión, describir aquí dichos sistemas, y sí terminar este artículo enunciando los propósitos de los mismos

Un sistema de supresión de explosiones debe ser diseñado para prevenir las pérdidas de vidas y bienes, así como la interrupción de la producción con todos los problemas que ello conlleva. Los sistemas cubren sus objetivos cuando se consideran las siguientes etapas durante la investigación del riesgo y subsiguiente diseño de la protección:

1.º El riesgo se analiza para conocer las posibles «fuentes de ignición» y su localización.

2.º El sistema se diseña para detectar la ignición lo antes posible y automáticamente suprimir la explosión, a ser posible dentro del área donde se ha producido.

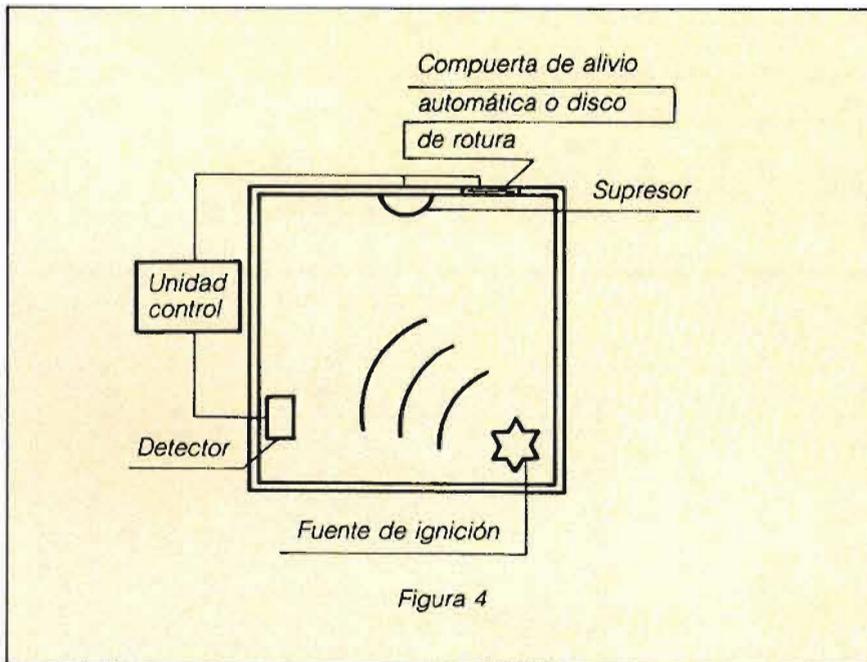
3.º La interrupción de los procesos y señalización óptica y acústica deben producirse simultáneamente con la detección de una condición de alarma.

4.º Iniciada la supresión de la explosión, deben preverse acciones simultáneas para evitar el desarrollo de efectos secundarios.

Genéricamente, se representa en la figura 4 un sistema básico de supresión de explosiones.

Los elementos mínimos necesarios son una unidad de control, detectores de diversos tipos (de presión, ultravioleta, termopar de alta velocidad, etcétera), supresor o elemento que contiene el agente extintor y elementos de alivio de presión. Respecto al agente extintor, como es natural, depende del tipo de riesgo, pero los más usuales, y casi únicamente utilizados, son los derivados halogenados y el agua.

Por último, insistir en la necesidad de evaluar el riesgo adecuadamente y, por consiguiente, conocer las características del producto que nos permitan hacer una protección adecuada, todo ello conjugado con un adecuado y profundo conocimiento del proceso.



CONCLUSION

El riesgo de explosión, como se ha comentado al principio, es poco considerado o se hace conjuntamente con el riesgo de incendio que al fin y al cabo es su última consecuencia. Hemos intentado exponer todos los aspectos del mismo comprimiéndolos en este artículo, que hubiera deseado más breve, con el ánimo de hacer llegar al lector de que además de que es un riesgo tangible, también es posible su control. Por imperceptible que pueda parecer un milisegundo, muchas instalaciones industriales están aún intactas y son aún productivas debido a la utilización de sistemas de protección de tan alta velocidad, que reaccionan más rápido que las mismas explosiones.

Espero que estas líneas contribuyan a que los lectores no olviden en el futuro el riesgo de explosión. ■

CARACTERISTICAS EXPLOSIVAS DE DIVERSOS POLVOS

Tipo de polvo	Indice de explosividad	Sensibilidad a la ignición	Gravedad de la explosión	Presión máxima de explosión libras por pulgada ²	Gradiente máximo de presión en libras por pulgada ² /seg.	Temperatura de ignición		Energía mínima de ignición de la nube (en julios)	Concentración mínima para la explosión en onzas por pie cúbico (kg/m ³)
						Nube	Carra		
						°C	°C		
Arroz.....	0,3	0,5	0,5	47	700	510	450	0,10	0,085
Azúcar en polvo.....	9,6	4,0	2,4	109	5.000	370	400	0,03	0,045
Harina de soja.....	0,7	0,6	1,1	94	800	550	340	0,10	0,06
Harina de trigo.....	4,1	1,5	2,7	97	2.800	440	440	0,06	0,05
Maíz.....	6,9	2,3	3,0	113	6.000	400	250	0,04	0,055
Carbón de Pittsburgh.....	1,0	1,0	1,0	90	2.300	610	170	0,060	0,055
Carbón vegetal de lignito.....	0,1	0,1	—	41	100	670	370	—	2,000
Carbón vegetal de mezclas de madera.....	1,3	1,4	0,9	83	1.300	530	180	0,020	0,140
Grafito.....	0,1	0,1	—	—	—	—	580	—	—
Magnesio molido, grado B....	> 10	3,0	7,4	116	15.000	560	430	0,040	0,030
Aleación aluminio-cobalto (60-40).....	0,4	0,1	3,5	92	11.000	950	570	0,100	0,180
Aleación aluminio-magnesio (Dowmetal).....	> 10	2,9	4,5	86	10.000	430	480	0,080	0,020
Metacrilato.....	> 10	14,0	2,7	85	6.000	480	—	0,010	0,030
Polímero de acrilonitrilo.....	> 10	8,1	2,3	89	11.000	500	460	0,020	0,025
Acetato de celulosa.....	> 10	8,0	1,6	85	3.600	420	—	0,015	0,040
Polímero de tetrafluoroetileno (micronizado).....	0,1	0,1	—	—	—	670	570	—	—
Policarbonato.....	8,6	4,5	1,9	96	4.700	710	—	0,025	0,025
Polietileno de alta densidad..	> 10	7,5	1,4	81	4.000	450	380	0,030	0,020
Polietileno de baja densidad..	> 10	22,4	2,3	80	7.500	450	—	0,010	0,020
Polipropileno.....	> 10	8,0	2,0	76	5.500	420	—	0,030	0,020
Cloruro de polivinilo fino.....	0,1	0,1	> 0,1	28	200	660	400	—	—
Epoxi.....	> 10	12,4	2,7	94	6.000	540	—	0,015	0,020
Fenol formaldehído.....	> 10	9,3	1,4	77	3.500	580	—	0,015	0,025
Caucho clorado.....	0,1	0,1	—	—	—	940	290	—	—
Caucho en bruto duro.....	7,4	4,6	1,6	80	3.800	350	—	0,050	0,025