



Documentación

NTP 403: Sistemas supresores de explosión (II): factores de diseño y aplicaciones prácticas

Systèmes de suppression d'explosion
Explosion suppression systems

Redactores:

Bernardo Méndez Bernal
Ingeniero de Minas

Emilio Turmo Sierra
Ingeniero Industrial

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

*Esta NTP complementa a la **anterior** dedicada a los fundamentos teóricos y criterios técnicos sobre los medios de extinción frente a explosiones en recintos cerrados. Su contenido está dedicado a los factores de diseño y a una aplicación práctica.*

Diseño de los sistemas de supresión de explosiones

En el diseño de los subsistemas de detección es importante determinar la naturaleza y situación de las posibles fuentes de ignición: llamas, superficies calientes, material ardiendo, ignición espontánea, operaciones de corte o soldadura, calor por fricción o destellos, destellos por impacto, destellos eléctricos, destellos por descarga electrostática. Debe conocerse, asimismo, la velocidad inicial de subida de presión que pueda desarrollar la mezcla específica de aire/combustible y su composición química, a fin de seleccionar el agente extintor adecuado y la concentración precisa para conseguir una supresión eficaz.

El emplazamiento óptimo del equipo de detección depende de la localización de las posibles fuentes de ignición.

La instalación de los supresores debe hacerse de forma que estén distribuidos uniformemente sobre la superficie del recinto confinado a proteger. Las líneas de conexión entre las válvulas de los extintores y las boquillas semiesféricas dispersantes del polvo deben ser tan cortas como sea posible y de suficiente resistencia. Si por razones técnicas (especialmente en el sistema de 3/4") se requieren líneas de conexión más largas, sus longitudes no deberían superar los 50 cm, por cuanto, de lo contrario, el efecto extintor podría verse dificultado.

En aquellos casos en los que se combinen un sistema de supresión y un alivio por venteo, debe cuidarse que la presión estática de activación del dispositivo de alivio de venteo sea siempre mayor (con margen suficiente) que la presión de activación del sistema de supresión. De no ser así, la presión de explosión no sería lo suficientemente reducida y, en el mejor de los casos, sólo se conseguiría un acortamiento de la duración de la llama.

En los criterios de diseño de los sistemas supresores se exige que $P_{red} < P_s$, siendo P_s la presión correspondiente al valor mínimo del límite de elasticidad del material de la estructura confinada. **La presión de detección o activación debe tararse por encima de las fluctuaciones de presión del proceso, evitándose así activaciones improcedentes.**

La efectividad de la supresión depende de la fiabilidad de los componentes que integran el control de detección y de la disposición de los supresores. El agente supresor debe disponer de libre capacidad de dispersión de flujo y de unas características eficaces de absorción de calor, de modo que, al introducirse en el núcleo de la llama, elimine la energía calorífica rápidamente y con efectividad.

Los sistemas supresores deben diseñarse e instalarse de tal forma que su eficacia esté asegurada. Esta efectividad depende de los siguientes factores:

- Volumen y geometría del recinto confinado.
- Valores característicos de la explosión $P_{m\acute{a}x}$ y K_{st} .
- Condiciones del proceso (turbulencia y flujo de aire).
- Presión límite de detección o activación P_a .
- Tipo y eficacia de los supresores.
- Número y disposición de los supresores.

El primer paso a considerar en el diseño de un sistema efectivo de supresión para una aplicación industrial determinada es cuantificar el riesgo potencial de la explosión. Las características de las distintas curvas obtenidas experimentalmente en una explosión en recinto cerrado correspondiente a un material combustible determinado efectuada en vasijas tipo (esferas de 20 l o de 1 m³) son del tipo que se indica en la fig. 1. En una primera aproximación el tiempo que transcurre en alcanzarse una cierta presión es inversamente proporcional al cociente de la superficie al volumen de la vasija o recinto de ensayo. Tratándose de vasijas esféricas, este tiempo resulta proporcional a la raíz cúbica del volumen. Conociendo, pues, el tiempo t transcurrido en alcanzar la presión un cierto valor en un volumen V , el tiempo t' requerido para que la presión alcance el mismo valor en un volumen V' , viene dado por: $t' = (V'/V)^{1/3} \cdot t$. Tratándose de recintos (vasijas) en los que la razón longitud/diámetro alcanza cierto valor (mayor de 2 : 1), esta relación se alejará de la ley cúbica cuando el frente de llama alcance la pared de la vasija. El valor del gradiente en un recinto dado está íntimamente ligado al nivel inicial de turbulencia en el mismo, nivel éste que se verá incrementado con la inyección de agente supresor.



Fig. 1: Variación de la severidad de explosión (K_s) con la presión reducida en una explosión suprimida

Estos incrementos de turbulencia pueden verse incluso reforzados en aquellos casos en los que el movimiento en el interior de los equipos sea especialmente intenso (equipos de molturación, de mezcla, etc.). En tales casos, los valores del gradiente de presión deben verse afectados por un factor de seguridad cuyo valor debe dictarlo la experiencia.

En aquellos procesos que trabajan a presión distinta de la atmosférica, la presión de proceso tiene un considerable efecto en el gradiente de presión. En una primera instancia, este gradiente es proporcional a la presión inicial absoluta, con lo que a mayores valores de ésta, mayor resistencia mecánica deben presentar los recintos confinados a proteger.

El gradiente puede, asimismo, ser dependiente de la temperatura del proceso, no obstante el criterio sustentado por algunos especialistas al afirmar que para valores iniciales inferiores a ciertos límites resulta independiente de la temperatura inicial.

Sobre la base de mediciones del valor del gradiente en un recipiente de ensayo, es posible estimar el valor del gradiente en las vasijas objeto de protección en las condiciones más desfavorables.

La secuencia de estadios concurrentes en una supresión se presenta en la figura 2 para un tipo de detector de presión umbral definida. Para otro tipo de detector, la secuencia difiere ligeramente. A resultas de una ignición, la presión en la nube de polvo crece rápidamente. Pasado un tiempo t_d la presión de explosión alcanza el valor P_a a la que el detector está tarado, normalmente a 0,05 bar g (manométrica). La presión se propaga a través de la vasija a la velocidad del sonido durante un cierto tiempo finito t_e antes de que la explosión alcance el detector. Estos tiempos dependen de las posiciones relativas del detector y de la fuente de ignición.

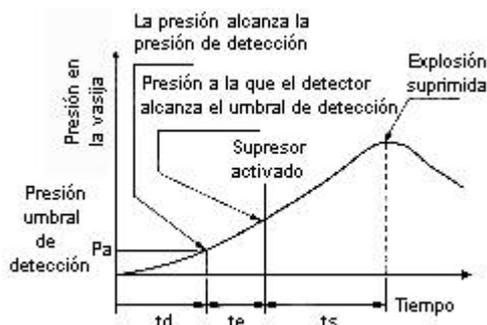


Fig. 2: Secuencia de estadios en el transcurso de una explosión suprimida

En el caso de un cubo de 3 m de longitud de lado, con el detector en el centro de uno de ellos y la fuente de ignición en la esquina opuesta, el tiempo sería de 12 milisegundos, aproximadamente. El tiempo que realmente transcurre en activarse el supresor es muy pequeño. El agente supresor es impulsado inicialmente hacia la vasija o recinto cerrado a la velocidad de descarga del supresor (40-60 m/s) y, consecuentemente, transcurrirá un tiempo finito para que el agente en su difusión alcance todas las partes del recinto. Este tiempo t_s puede reducirse considerablemente si se hace uso de más de un supresor. La duración de la descarga de los supresores conlleva que la concentración del agente supresor en la vasija sea función del tiempo. La variación de la velocidad de descarga y la cantidad descargada dependerá del diseño mecánico del supresor y de las pérdidas de carga y obstáculos que presente a su salida. Mientras tanto, la presión de explosión

aumenta hasta que la concentración del agente es tal que posibilita la reducción de temperatura en el núcleo de la llama por debajo de la temperatura de autoignición. La concentración requerida del agente supresor para suprimir la explosión, tal y como indica la figura 3, aumenta al ir creciendo la presión de explosión con el tiempo. En la medida en que más se dilate la aplicación del agente, mayor será la cantidad requerida de éste. La figura 4 compara la concentración de agente administrada en el curso de una supresión eficaz con la concentración requerida.

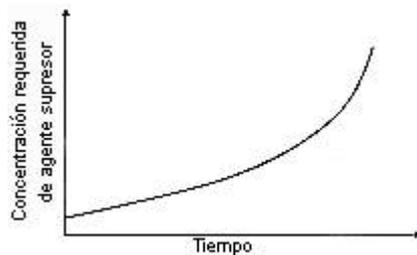


Fig. 3: Crecimiento de la concentración de agente supresor en el tiempo requerido para suprimir una explosión

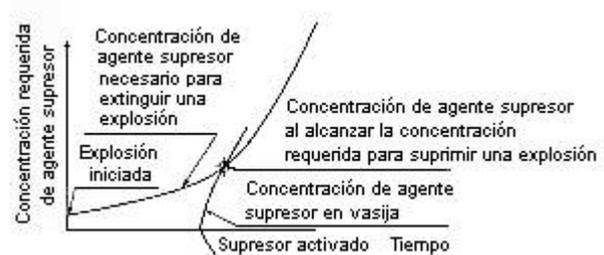


Fig. 4: Comparación de la concentración requerida de agente supresor, con la aplicada en el curso de una supresión eficaz

Si una supresión suficiente se aplica con la rapidez precisa, la explosión se extingue, el aumento del gradiente de presión se paraliza y finalmente disminuye al enfriarse el recinto de aplicación. Se habrá conseguido entonces una supresión eficaz si la presión reducida P_{red} es menor que la presión resistente del equipo. En su defecto la supresión habrá fracasado en su intento de proteger el equipo. Las figuras 5, 6 y 7 muestran el desarrollo de la presión en distintas situaciones de fallo.



Fig. 5: Concentración de agente supresor en el transcurso de una supresión fallida (Explosión detectada demasiado tarde)



Fig. 6: Concentración de agente supresor durante una supresión fallida (Agente supresor inyectado demasiado lento)



Fig. 6: Concentración de agente supresor durante una supresión fallida (Insuficiente agente supresor)

Por todo ello, los márgenes de seguridad que deben prevalecer en el diseño de los sistemas de supresión son:

- $P_{red} < P_s$

- El caudal de descarga previsto debería ser dos veces mayor que el requerido.
- La masa de agente supresor a emplear debería superar la requerida por lo menos en un 50%.

Supresión de explosiones de peróxidos orgánicos

Por cuanto queda expuesto, las explosiones desarrolladas en el interior de recintos cerrados a presión inicial normal sólo pueden ser suprimidas si el valor K_{st} no supera los 300 bar.m.s^{-1}

Son de destacar la supresión de explosiones en el caso de aquellos peróxidos orgánicos que presentan una reacción exotérmica a temperaturas por encima de los $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Los resultados conseguidos han demostrado que no resulta posible una supresión efectiva, dado que, incluso en el mejor de los casos, la presión de explosión reducida se mantenía en la franja de los 4-5 bar y la violencia de la explosión se reducía sólo a una tercera parte del valor conseguido sin supresión. El orden de efectividad del agente extintor en sentido decreciente resultaba ser: fosfato amónico, agua, sulfato de potasio y halón 1211. Incluso con peróxidos, cuyo $K_{st} = 230 \text{ bar. m.s}^{-1}$ y por tanto considerablemente por debajo de los límites de aplicabilidad de los sistemas de supresión descritos en la **NTP anterior** no resultó efectiva la supresión. Explosiones de peróxidos orgánicos con $P_{m\acute{a}x} = 7,7 \text{ bar}$ y $K_{st} 170 \text{ bar.m.s}^{-1}$ pudieron ser suprimidas con fosfato amónico en polvo. En estos casos, la presión de explosión reducida fue del orden de 1 bar y la violencia de la explosión se redujo considerablemente. En definitiva, los límites de aplicación para esta clase de productos resultan restringidos y deben establecerse a base de experiencias y pruebas en recintos lo suficientemente amplios (por ejemplo de 1 m^3).

Conclusiones

Como compendio a las consideraciones hasta aquí expuestas, cabe resumir:

- Por aplicación de la ley cúbica resulta posible estimar matemáticamente la violencia de la explosión en vasija cerrada, a través de las expresiones:

$$(dp/dt)_{m\acute{a}x} \times V^{1/3} K_G \text{ (para gases inflamables)}$$

$$(dp/dt)_{m\acute{a}x} \times V^{1/3} K_{st} \text{ (para polvos combustibles)}$$

Siempre que se conozcan por pruebas de laboratorio, los parámetros siguientes:

- a. La naturaleza del material combustible (gas inflamable o polvos).
- b. El volumen del recinto cerrado de explosión y la concentración de la mezcla combustible. Para polvos combustibles, la concentración y tamaño de las partículas.
- c. El grado de turbulencia.
- d. La presión en el momento de la ignición.

- e. El tipo y dimensión de la fuente de ignición.
- En lo que a las pruebas de laboratorio se refiere y por principio, la cámara de explosión debería ser de forma esférica o cúbica, con la fuente de ignición situada en el centro. El volumen de la cámara de explosión no debería ser inferior a 1 l si se trata de gases inflamables y de 20 l para polvos combustibles. En ambos casos, se precisa de energía de ignición suficientemente alta. Las mezclas de polvos combustibles con gases o vapores inflamables dan origen a las llamadas "mezclas híbridas" que pueden resultar peligrosas aún cuando no lo sean sus componentes por separado.
 - Resulta oportuno precisar que un considerable número de polvos combustibles requieren energías de ignición bastante próximas a la que precisan los gases inflamables.
 - Finalmente, merece especial consideración y desde una perspectiva del riesgo, la intervención del personal del servicio contra incendios en instalaciones con este tipo de sistemas de supresión (figura 8). A tal efecto, resulta aconsejable que este personal conozca su operatividad y dónde se localizan, abstenerse de abrir conductos o equipos de procesos sin consultar previamente con los responsables de seguridad internos de la instalación y, en su defecto, interrumpir el suministro de energía eléctrica antes de iniciar cualquier tipo de acción.

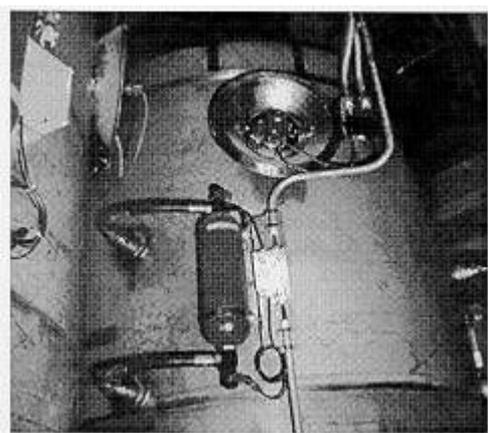


Fig. 8: Sistema de supresión de explosión instalado en un ciclón

Resulta aconsejable, por otra parte, que las reparaciones y el mantenimiento de esta clase de instalaciones corran por cuenta de personal especializado.

Aplicación práctica

Los márgenes de seguridad que se resumían al final del apartado: "Diseño de los sistemas de supresión de explosiones" encuentran su razón de ser en la experiencia a la que sirve de ilustración la figura 9.

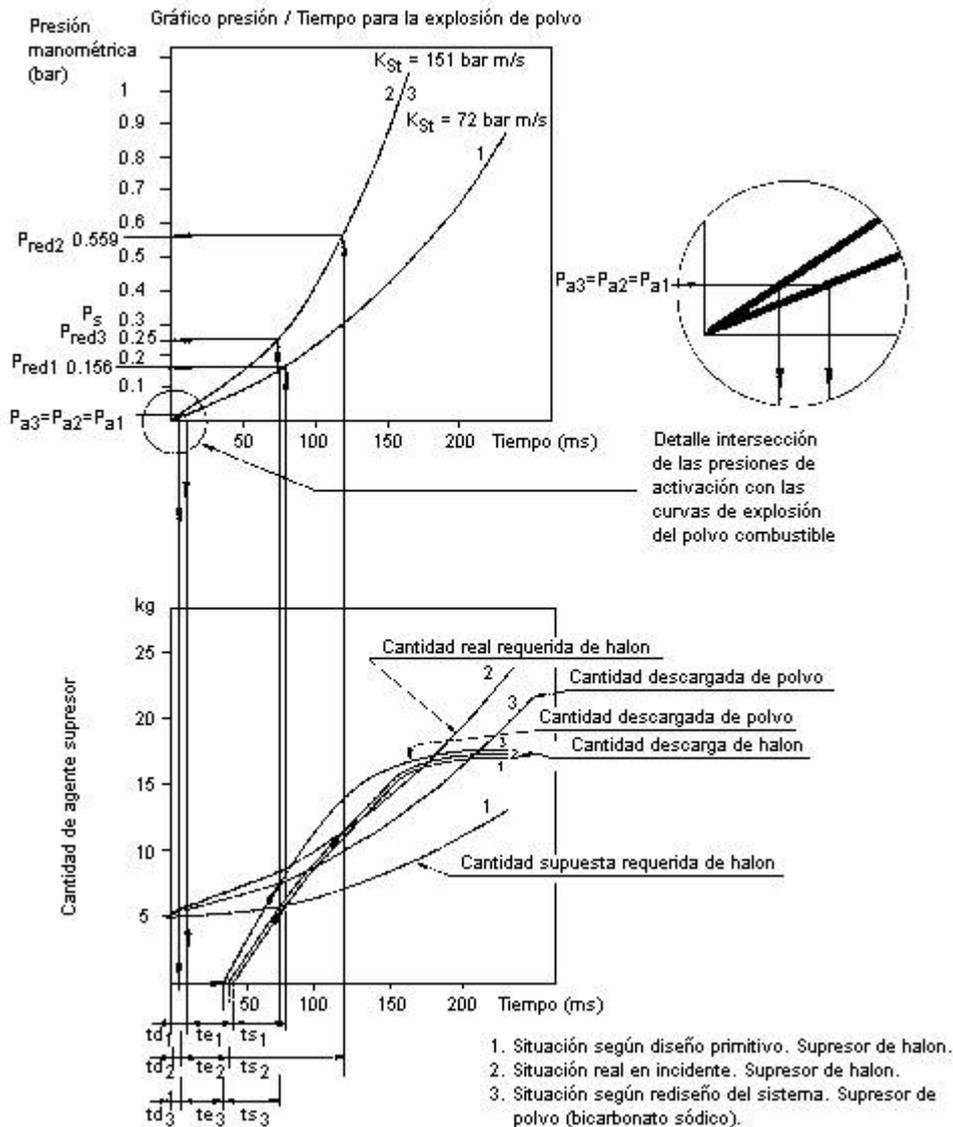


Fig. 9: Determinación de la P_{red} para la supresión

Una incorrecta definición o falta de representatividad en las muestras del producto objeto de un determinado proceso y remitidas en primera instancia a laboratorio, se tradujo en la disponibilidad de la curva característica concentración o masa de agente supresor en función del tiempo, como la indicada en la curva nº 1 de la figura ($P_{m\acute{a}x} = 6,5 \text{ bar g}$ y una $K_{St} = 72 \text{ bar.m.s}^{-1}$). El valor de la P_{red} calculada resultó ser $0,156 \text{ bar g}$ y la estructura, diseñada para resistir presiones P_s inferiores a $0,3 \text{ bar g}$. Después de un periodo de tiempo de funcionamiento normal, estimado en siete meses, una explosión acaecida en el trascurso del proceso (molturación de cebada malteada) obligó a una reconsideración del modelo de supresión diseñado, detectándose, tras una nueva remisión de muestras del material objeto del proceso a un test de laboratorio, que el producto una vez procesado (molido) respondía a una $K_{St} = 151 \text{ bar.m.s}^{-1}$ (curva 2). El nuevo valor de P_{red} resultó ser $0,559 \text{ bar g}$, algo superior a la presión resistente de la estructura que confinaba el proceso, circunstancia ésta que justificaba los daños causados a la estructura del equipo, no obstante haberse logrado la supresión. La remodelación del sistema aconsejó, además, la sustitución del agente supresor, en principio basado en un HRD de 75 mm a base de Halon 1011 (clorobromometano), por bicarbonato de sodio (curva 3). Con esta situación 3 y siguiendo el mismo proceso de determinación aproximada de la presión reducida P_{red} de

explosión con supresión, se llega a una $P_{red} = 0,25$ bar g, inferior a $P_s = 0,3$ bar g, con lo cual la explosión quedaría suprimida y confinada dentro del recinto a proteger.

Esta determinación es aproximada ya que se utiliza la curva de explosión no suprimida conocida por ensayos en vez de la curva de la explosión suprimida, la cual no es conocida si no se realizan los ensayos en el propio recipiente a proteger y con supresor instalado. Al considerar las curvas de explosión no suprimida se obtienen unos valores P_{red} superiores a los que deben ocurrir funcionando correctamente el sistema supresor, lo cual equivale a un factor de seguridad en su cálculo.

Bibliografía

(1) BARTKNECHT

Explosions

Berlin Springer-Verlag, 1981

(2) BRYAN, J. L.

Fire suppression and detection systems

Nueva York, Mac Millan Publishing Co., Inc., 1982

(3) CARTWRIGHT, P.

Industrial explosion protection. Dust explosion protection seminar (22-8-1995)

Oldham. Lancashire, Kidde Fire Protection -Chilworth Technology Ltd.

(4) ECKHOFF, R. K.

Dust explosions in the process industries

Londres, Butterworth-Heinemann, 1991

(5) SCHOFIELD, C. y ABBOTT, J. A.

Guide to dust explosion prevention and protection

Part 2-Ignition prevention, containment, inerting, suppression and isolation

Rugby, The Institution of Chemical Engineers, 1988