

NTP 396: Deflagraciones producidas por gases, vapores y polvos combustibles: sistemas de protección



Deflagation produites par des gaz, des vapeurs et des poussières combustibles: systèmes de protection
 Deflagrations caused by combustible gas, vapour and dust: protective systems

Vigencia	Actualizada por NTP	Observaciones	
Válida			
ANÁLISIS			
Criterios legales		Criterios técnicos	
Derogados:	Vigentes:	Desfasados:	Operativos: SI

Redactor:

Francisco Alonso Valle
 Ingeniero de Minas

CENTRO NACIONAL DE NUEVAS TECNOLOGÍAS

Introducción

Son muy numerosas las instalaciones en la que se tratan o están presentes gases, vapores y polvos combustibles, como por ejemplo procesos químicos, manipulación de carbón, filtración de polvos, recuperación de vapores, manipulación y almacenamiento de grano, molido, etc., con el consiguiente riesgo de que se produzcan explosiones, desgraciadamente frecuentes en la práctica, que son origen de daños a las personas y a las instalaciones.

Por otra parte, a la explosión principal u origen es frecuente que la sucedan otras explosiones secundarias, que llegan a destruir todas las instalaciones ocasionando numerosas víctimas y cuantiosos daños materiales, fig. 1

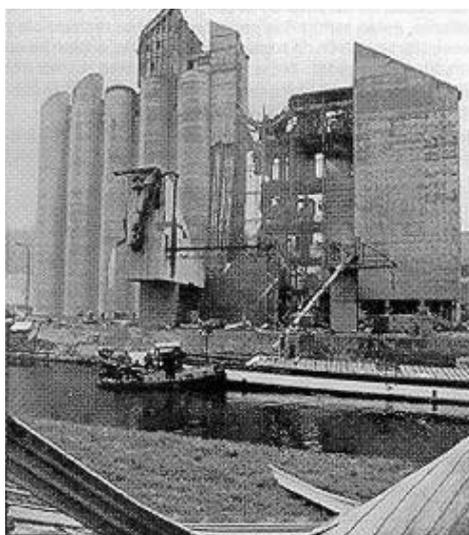


Fig. 1: Efectos de la explosión de polvo en un silo de maíz (Foto: P. Janssens)

Las posibilidades de que se produzcan tales pérdidas, humanas y materiales, son razones suficientes para desarrollar medidas preventivas que reduzcan o eliminen el riesgo de explosión y medidas de protección que salven vidas y bienes en el caso de que la explosión se produzca.

Objeto

Una explosión puede tener origen químico, combustión rápida, produciendo ruido, calor y una expansión rápida de gases que origina una presión, siendo la velocidad de reacción una característica importante que determina el que la explosión se clasifique en deflagración o detonación.

En las deflagraciones, la velocidad en que el frente de llamas avanza es inferior a la velocidad del sonido; el tiempo que transcurre entre el inicio y la finalización de la misma, aunque parezca virtualmente instantánea, es finito y típicamente comprendido entre 100 y 200 milisegundos. Contrariamente, en el caso de la detonación dicha velocidad es mucho más elevada, superando la velocidad del sonido.

Estas características diferenciadoras entre deflagración y detonación hacen que en el caso de la segunda, salvo para gases y líquidos en tuberías, no se pueda disponer de elementos que limiten sus consecuencias en el caso de producirse, ya que no se dispone del tiempo de respuesta adecuado, necesario en todo elemento de protección, además de que las presiones que genera son mucho más elevadas.

Consecuentemente con lo indicado, el objetivo que se plantea en la presente Nota Técnica de Prevención es exponer los elementos de protección frente a deflagraciones que pueden ser empleados en aquellos sistemas, instalaciones o equipos en los que se produzcan o estén presentes gases, vapores y polvos combustibles, sin que por ello se deban obviar las medidas preventivas previas, entre las cuales hay que destacar:

- Limpieza, evitando las deposiciones de polvo.
- Sellado de equipos, evitando con ello la salida de polvo.
- Conexión de equipos a tierra.
- Evitar puntos de ignición, como superficies y tuberías calientes, así como emplear sistemas que eviten el sobrecalentamiento.
- Reducción de la relación combustible/oxígeno mediante inertización.
- Adición de sólidos neutros, en proporción mayor del 50%.
- Trabajo en vacío.
- Formación e información del personal.

Definición del problema

Si una deflagración ocurre a cielo abierto, se producen llamas y hay una disipación de calor y gases de combustión; ahora bien, si tiene lugar en un recinto cerrado, la presión debida a los gases de combustión se incrementa a gran velocidad alcanzando valores de hasta diez o más veces la presión inicial absoluta del recinto, dependiendo del tipo de producto. Es este el caso de deflagraciones ocurridas en equipos industriales, en los cuales el calor y la presión son retenidos en su interior, sometiéndoles a sollicitaciones para las cuales no han sido diseñados. con el resultado final de su destrucción.

A la hora de aplicar medidas de protección frente a deflagraciones en equipos e instalaciones, es necesario determinar previamente unos puntos básicos para definir qué sistema es posible aplicar, siendo los datos más corrientemente requeridos los siguientes:

- Severidad de la explosión, es decir la velocidad máxima con que se incrementa la presión y la presión máxima alcanzable.
- Concentración mínima que se requiere para que se produzca la explosión.
- Concentración mínima de oxígeno requerida.
- Mínima energía requerida para que se produzca la ignición.

En muchos casos estos parámetros son bien conocidos y están documentados; en otros, sin embargo, no existe información y será necesario proceder a determinarlos experimentalmente, ya que se podría dar el caso de que las medidas de protección tomadas no sirviesen de nada, al producirse detonaciones en lugar de deflagraciones.

La determinación experimental es efectuada por equipos especialmente diseñados para ese cometido, mostrándose en la figura 2, un ensayo de explosión en equipo esférico de 5 m³.

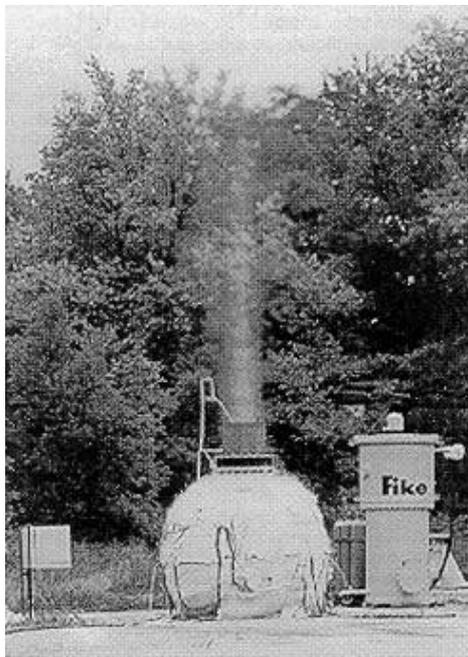


Fig. 2: Ensayo de explosividad en recipiente de 4 m3

Una vez que se tiene bien determinadas las características que se pueden dar en el equipo o instalación específico, se procederá a aplicarla medida adecuada, que en el caso de protección frente a deflagraciones puede ser:

- Venteo o alivio de la presión.
- Supresión de la deflagración.
- Aislamiento de la deflagración.

Venteo o alivio de presión

Una de las medidas más conocidas y utilizadas para proteger equipos e instalaciones frente a deflagraciones, es el venteo o alivio de la presión que se genera durante la misma, con lo cual se limita su crecimiento a valores inferiores a la de diseño del equipo, gráfico 1, quedando este protegido.

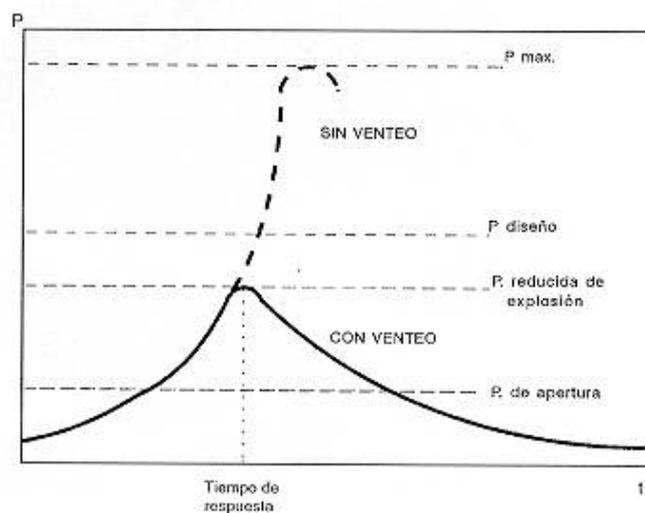


Gráfico 1: Variación de la presión con y sin venteo

Prácticamente, el venteo o alivio de presión se realiza disponiendo en los equipos membranas ligeras (paneles de ruptura), con una presión de ruptura predeterminada, figura 3 y figura 4, las cuales son capaces de actuar casi instantáneamente, de forma predecible y sin resistencia frente a la presión.

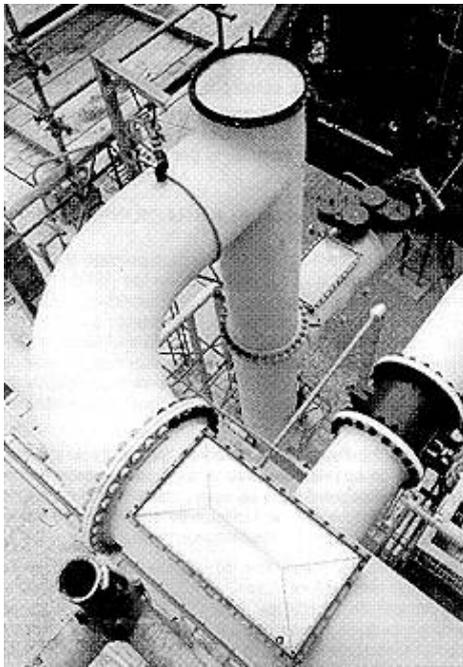


Fig. 3: Paneles de venteo

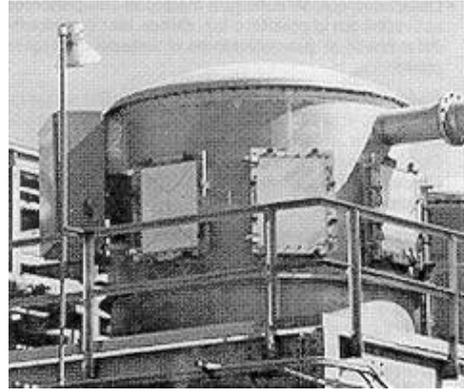


Fig. 4: Paneles de venteo

Fabricadas de láminas de acero y teflón como elemento sellante, están ranuradas para disminuir su resistencia y presentar un patrón de ruptura determinado, si bien en su constitución pueden entrar otros materiales, como por ejemplo cerámicos, para protección del teflón en procesos que se realicen a elevadas temperaturas.

De forma circular o cuadrada, el área de venteo requerida para proteger de forma efectiva el sistema viene determinada por cálculos contenidos en normas tales como las VDI-3676 y NFPA 68, pudiéndose disponer de dimensiones estándar o fabricarse a medida, así como para sistemas de vacío, presión de trabajo pulsante, y alta temperatura, todo lo cual configura un amplio abanico de posibilidades de utilización.

Otras de las ventajas que presentan los paneles o membranas de ruptura viene determinada por la gran variedad de opciones adicionales que presentan, entre las cuales cabe citar:

- Indicadores de ruptura del panel y posibilidad de conexión a otros sistemas de seguridad del proceso.
- Conexión a tierra, en prevención de la electricidad estática.
- Aislamiento, para aquellas instalaciones que estén aisladas térmicamente, y con ello evitar la pérdida de calor y la condensación.
- Aplicaciones higiénicas en alimentación y farmacia.

En cuanto a su ubicación física, hay que tener en cuenta que en su funcionamiento no solo se efectúa el alivio de presión, sino que hay salida de quemados, inquemados y llamas, figura 5, lo que puede ser origen de explosiones secundarias, razón por la cual la salida debe ser dirigida a una zona segura, lo cual puede condicionar su utilización.

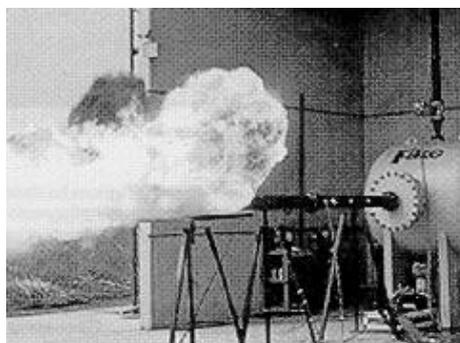


Fig. 5: Venteo de llama

Venteo sin llamas

Dado que en muchas ocasiones no se dispone o no es adecuado dirigir el escape a una zona de seguridad, se hizo necesario disponer de elementos que supriman la salida de llama al producirse la ruptura de la membrana, naciendo el denominado filtro de llama.

Su fundamento se basa en el hecho conocido de que la propagación de una llama puede eliminarse si se disipa su energía, físicamente realizable haciéndola pasar por un intercambiador especialmente diseñado en el que la temperatura se reduce por debajo de la temperatura de ignición de la materia de que se trate. Este tipo de intercambiadores, esquemáticamente representado en la figura 6, presentan una gran superficie de intercambio y su utilización junto a una membrana de ruptura ha dado lugar al sistema conocido como venteo de deflagraciones sin llama. Materialmente se efectúa disponiendo en serie con una membrana de ruptura, un filtro tal como se puede apreciar en la figura 7.

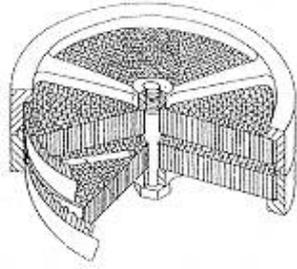


Fig. 6: Venteo de deflagración sin llama, esquema del interior del enfriador

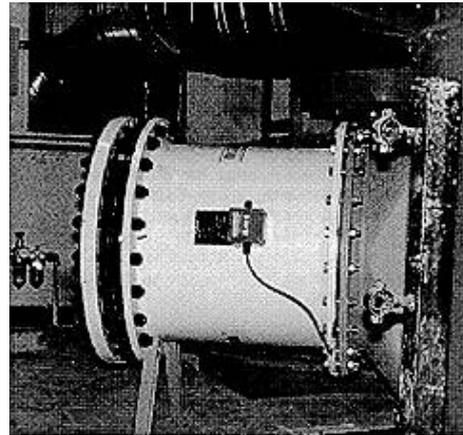


Fig. 7: Venteo de deflagración sin llama

La inclusión del filtro de llamas reduce la capacidad de venteo del panel de ruptura, tal como se puede observar en el gráfico 2, en el que se aprecia la variación en el tiempo de la presión resultante de la deflagración, con y sin filtro de llama.

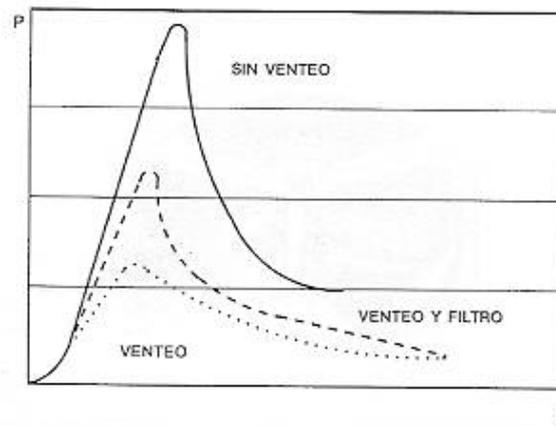


Gráfico 2: Variación de la presión con y sin filtro de llama

Para paliar este inconveniente se pueden utilizar dos alternativas:

- Diseño del equipo para una presión mayor.
- Aumento de la superficie de venteo.

La instalación de un filtro de llamas ofrece opciones adicionales entre las que cabe citar:

- Indicador de ruptura del panel y su posible asociación con otros elementos de seguridad, como la parada del sistema, visto anteriormente.
- Conexión a tierra para eliminar la posible electricidad estática.

El sistema descrito, combinación de panel de ruptura y filtro de llamas, permite ventear las instalaciones en áreas cerradas, siempre y cuando se adopten las medidas adecuadas y las sustancias venteadas cumplan determinados requisitos, como por ejemplo no ser tóxicas.

Una ventaja adicional que presenta el Filtro de Llamas es su reutilización tras una actuación, limitándose las operaciones a realizar a sustituir el panel y limpiar el filtro.

Supresión de deflagraciones

Un método de venteo y filtro de llamas permite aliviar las presiones y evitar la propagación de las llamas, ahora bien, no impide el que

se lance al exterior productos inquemados y de combustión, los cuales pueden ser dañinos para las personas y/o el medio ambiente, o bien no ser adecuado por otras diversas razones, lo que da lugar a la necesidad de disponer de otros métodos de protección frente a las deflagraciones que eviten la expulsión de gases.

Es un hecho físico bien conocido que el inicio de una combustión es relativamente lento, acelerándose con el tiempo (milisegundos), y es este estado inicial el que ha permitido desarrollar un sistema de supresión de deflagraciones que opera satisfactoriamente.

Un sistema de supresión de explosiones activo esta diseñado para actuar, tras la detección de una combustión incipiente, descargando instantáneamente agentes extintores que apagan la reacción de combustión, evitando así el incremento de la presión por encima de un valor predeterminado.

Básicamente su funcionamiento se desarrolla en tres etapas, figura 8:

- Detección; que se consigue mediante componentes activados por la presión o luz, siendo las condiciones del proceso el que determinan el sistema mas apropiado.
- Iniciación; como resultado de la detección se envía una señal al sistema de control electrónico indicando que se ha detectado un proceso de combustión. Dicho sistema procesa la señal recibida e inicia la secuencia de apertura del recipiente que contiene el agente extintor.
- Supresión, mediante descarga del agente extintor.

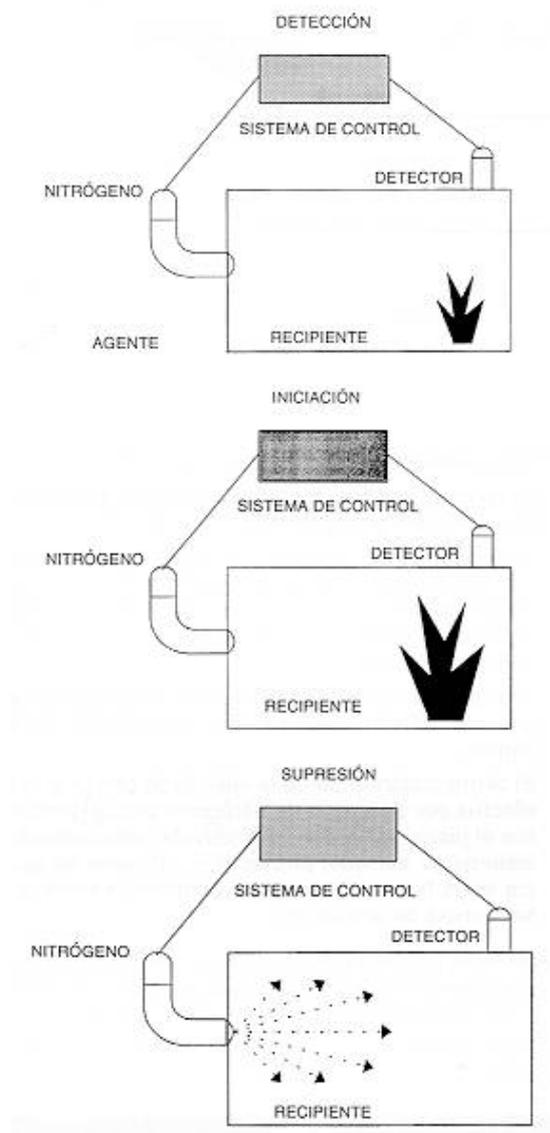


Fig. 8: Esquema de supresión de deflagraciones

Para conseguir una respuesta rápida, los recipientes que contienen el agente extintor están presurizados con nitrógeno y cerrados con un disco de ruptura, el cual rompe bajo la acción de un iniciador pirotécnico que genera un descarga de presión primaria. En la figura 9 se indica un esquema del sistema así como la secuencia de actuación, y en la figura 10 la disposición de uno de estos sistemas.

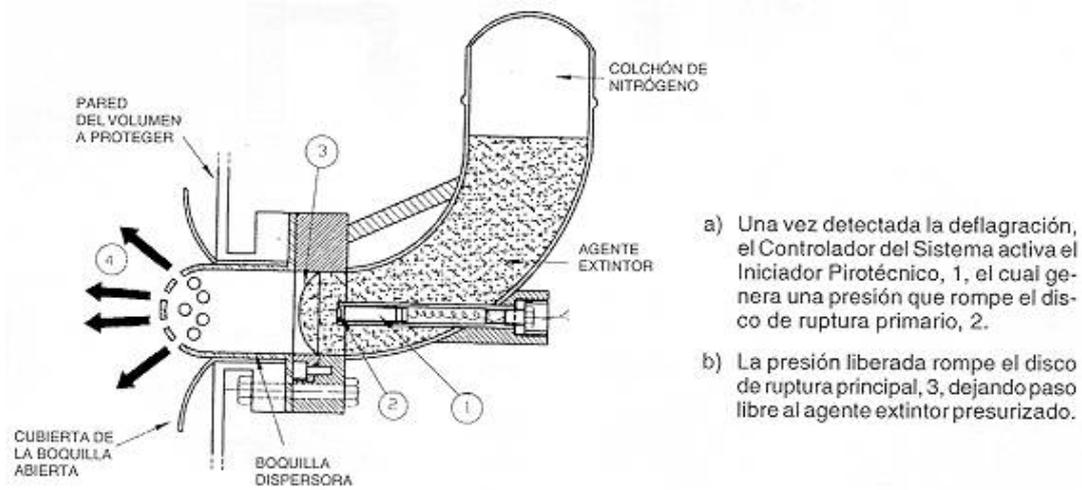


Fig. 9: Secuencia de actuación de un sistema de supresión de deflagraciones

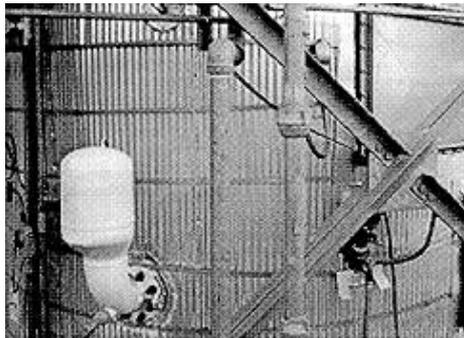


Fig. 10: Montaje combinado de supresor de deflagraciones y panel de venteo

Aislamiento de deflagraciones

El venteo y la supresión de explosiones son sistemas diseñados para proteger los equipos de las sobrepresiones debidas a una deflagración, mientras que un sistema de aislamiento, lo que pretende es evitar la propagación de la deflagración a lo largo del proceso: Gracias al aislamiento que produce, el efecto queda limitado al equipo donde se inició la deflagración.

Numerosas investigaciones y pruebas han demostrado que las explosiones se propagan a través de tuberías, y en todo proceso existen conducciones que intercomunican los equipos, o bien las conducciones pueden terminar en áreas de trabajo de personas.

Por otra parte, las explosiones tienden a tener mayor severidad en tuberías que en un recipiente cerrado, como prueba la TABLA 1, donde se indica los datos obtenidos experimentalmente con explosiones realizadas en dos recipientes, de 1 y 5 m³, conectados por una tubería de 10 metros.

TABLA 1

	VOLUMEN (m ³)	PRESIÓN MÁXIMA (bar)	(dp/dt) _{max} (bar/s)
EQUIPOS NO CONECTADOS	1	7,4	55
	5	7,4	32
EQUIPOS CONECTADOS	1	10,2	1000
	5	10,2	1200

Tal como se aprecia en la figura 11, tras iniciarse la combustión la llama se propaga por el producto combustible no quemado, incluso a contracorriente del flujo normal del proceso, generándose una onda de presión por delante del producto combustible en llamas, y que se desplaza a una velocidad superior a la de la llama pero inferior a la velocidad del sonido, es decir se produce una deflagración. Ahora bien, factores tales como la turbulencia y el incremento de la superficie de la llama aceleran el frente de llamas, y si se permite continuar y hay suficiente aire y combustible, se superara la velocidad del sonido apareciendo la detonación, que debe ser en todo momento evitada por sus efectos destructores.

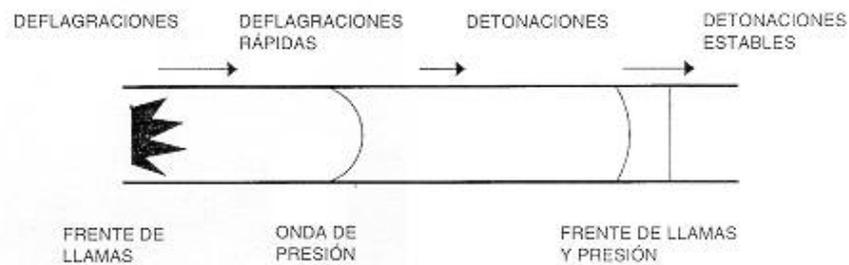


Fig. 11: Esquema de la propagación de una deflagración en tubería

Los sistemas de aislamiento se basan en evitar el avance de las llamas, existiendo varias técnicas para lograr el objetivo:

- Sistemas mecánicos activos; comúnmente denominados válvulas de aislamiento, están diseñados para actuar tras la detección de una combustión en estado inicial por aislamiento mecánico de la misma, evitando así su propagación. Físicamente se puede realizar utilizando válvulas de compuerta con cierre instantáneo, figura 12 y figura 13.

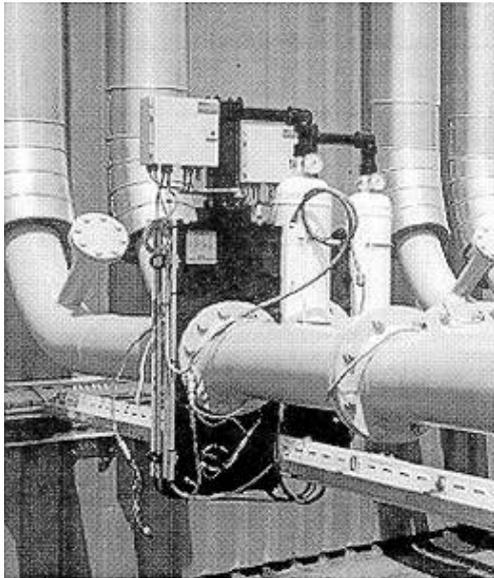


Fig. 12: Equipos de aislamiento de deflagraciones mediante compuerta mecánica

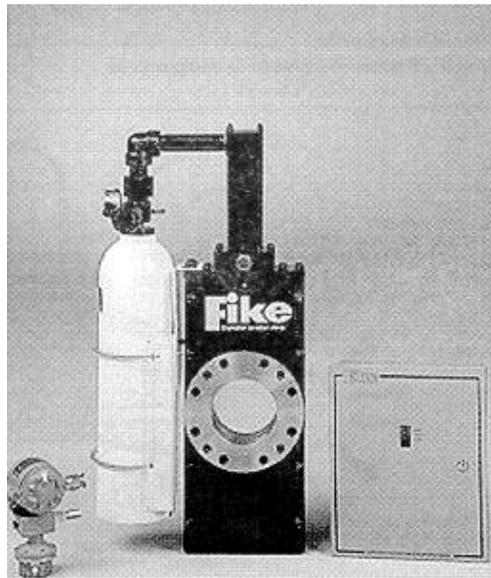


Fig. 13: Equipos de aislamiento de deflagraciones mediante compuerta mecánica

Estos sistemas actúan en tres etapas, figura 14:

- Detección; que se consigue mediante componentes activados por la presión o la luz (UV/IR).
- Iniciación; como resultado de la detección se envía una señal al sistema de control electrónico indicando que se ha detectado un proceso de combustión y dicho sistema inicia la secuencia de cierre de la válvula de compuerta.
- Cierre de la válvula de compuerta, aportándose así una barrera física que evita la propagación de las llamas.

El cierre instantáneo de la válvula de compuerta se efectúa por descarga de nitrógeno presurizado sobre el pistón actuador de la válvula, disponiendo el sistema un iniciador pirotécnico, tal como se aprecia en la figura 15, en la que también se indica la secuencia de actuación.

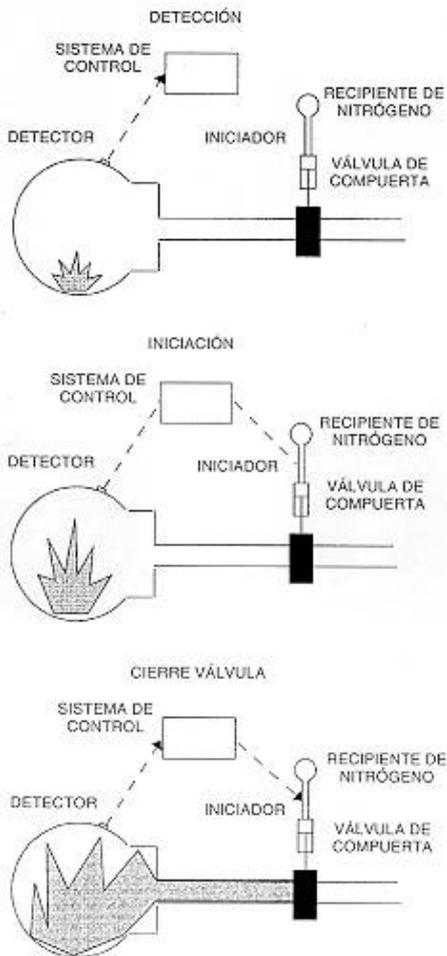


Fig. 14: Esquema de actuación del aislamiento de deflagraciones mediante compuerta

- a) Detectada la combustión, el Controlador del sistema de explosiones activa el Iniciador Piro-técnico 1.
- b) El Iniciador genera una presión que rompe el disco de ruptura primario, 2.
- c) La presión liberada rompe el disco de ruptura principal, 3, y el nitrógeno se libera creando un flujo, 4, que acciona la válvula a su posición de cierre.

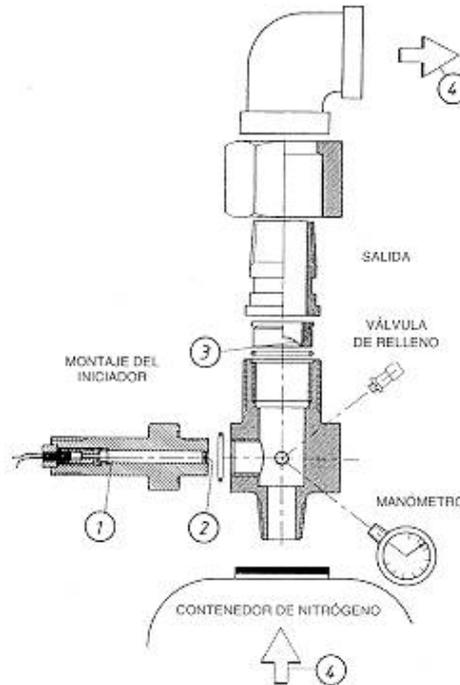


Fig. 15: Secuencia de inicio de disparo

- Sistemas de aislamiento químico; se diferencian de los sistemas mecánicos activos en que el progreso de las llamas es detenido mediante la descarga de un agente extintor, en lugar del cierre de una válvula, figura 16.

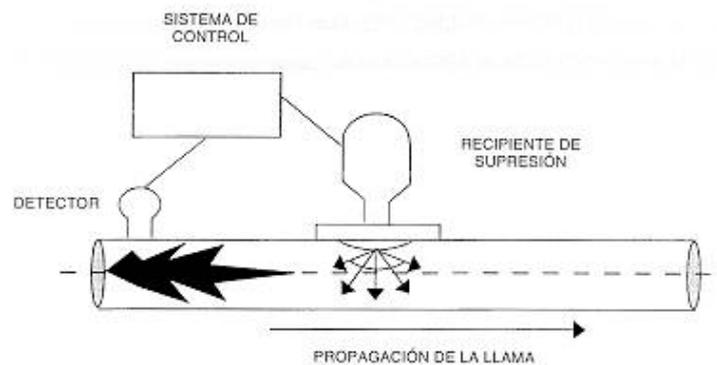


Fig. 16: Esquema de supresión de deflagraciones en tubería, mediante agente extintor

Los agentes supresores evitan la propagación del frente de llamas mediante los siguientes mecanismos:

- Absorbiendo la energía calorífica producida por la llama, bajando la temperatura de la llama por debajo del punto de autoignición.
- Inhibiendo la reacción de combustión al neutralizar el producto no quemado.
- Llevando la concentración a un valor en el que no pueda existir la combustión.

Para conseguir un aislamiento efectivo de la deflagración, la descarga de la cantidad suficiente de agente extintor debe iniciarse milisegundos después de la detección y en un tiempo conocido. En todo caso, se deberá cuidar con mucha atención la elección del agente extintor y la localización en el sistema, así como conocer la velocidad de la llama, entre otros factores. En la figura 17 se muestra la disposición de estos elementos en una conducción.

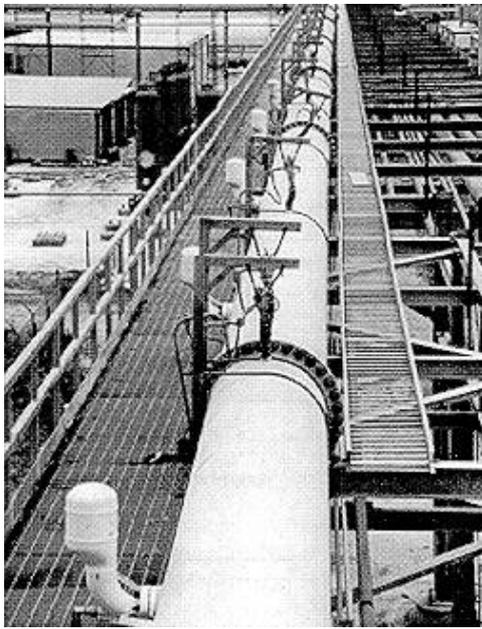


Fig. 17: Montaje en conducción de sistema de supresión de deflagraciones mediante agente extintor

Bibliografía

- (1) Protección de Explosiones. FIKE IBÉRICA.
- (2) Explosión Venting, FIKE EUROPA N.V.
- (3) Guide for Venting of Dust Deflagrations, FIKE EUROPA N.V.
- (4) Flameless Explosión Venting, FIKE EUROPA N.V.
- (5) Sistemas de Supresión de Explosiones, FIKE IBÉRICA.
- (6) Aislamiento de Explosiones, FIKE IBÉRICA.
- (7) Válvulas de Aislamiento de Explosiones, FIKE IBÉRICA.
- (8) Catálogos de Productos Fike, FIKE IBÉRICA.
- (9) Norma VDI-3676 (VEREIN DEUTSCHE INGENIEURE), Pressure Venting of Dust.
- (10) Norma VDI-2263 (VEREIN DEUTSCHE INGENIEURE), Dust Fires and Dust Explosions.
- (11) NFPA 68, NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, Guide for Venting Deflagrations, 1994.