

2ª Edición
Febrero 2025

Introducción a la Prevención y Protección Contra las Explosiones



Material no apto para la venta.

Ing. Néstor Adolfo BOTTA



www.redproteger.com.ar

*“Cuando llegó el día de Pentecostés,
estaban todos unánimes juntos.
Y de repente vino del cielo
un estruendo como de un viento recio que soplaba,
el cual llenó toda la casa donde estaban sentados;
y se les aparecieron lenguas repartidas,
como de fuego,
asentándose sobre cada uno de ellos.
Y fueron todos llenos del Espíritu Santo,
y comenzaron a hablar en otras lenguas,
según el Espíritu les daba que hablasen.”*

Hechos 2:1-4 RVR 1960



EL AUTOR

Néstor Adolfo BOTTA es Ingeniero Mecánico recibido en el año 1992 en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata; Ingeniero Laboral recibido en el año 1995 en la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional La Plata; Diplomado en Ergonomía recibido en el año 2018 en la Facultad de Química e Ingeniería del Rosario de la Pontificia Universidad Católica Argentina; y Diplomado en Sistemas Integrados de Gestión recibido en el año 2021 en la Universidad Nacional de Lomas de Zamora. Estudiante de la Diplomatura en Teología en el Instituto Bíblico Río de La Plata desde el 2022.

Es el Titular de la empresa Red Proteger, empresa dedicada a la Capacitación y Divulgación de conocimientos en materia de seguridad e higiene en el trabajo (www.redproteger.com.ar).

Desarrolló funciones como Responsable de Higiene y Seguridad en el Trabajo en empresas como SOIME SRL, TRADIGRAIN ARGENTINA SA, AMANCO ARGENTINA SA, MOLINOS RÍO DE LA PLATA SA y SEVEL ARGENTINA SA.

Asesoró a diversas empresas entre las que se destacan AKZO NOBEL SA, CERVECERÍA Y MALTERÍA QUILMES SAICyG y APACHE ENERGÍA ARGENTINA SRL.

Su extensa actividad docente lo ubica como:

- Profesor en la UCA de Ing. de Rosario para la Carrera de Posgrado de Higiene y Seguridad en el Trabajo en la asignatura de Riesgo y Protección de Incendios y Explosiones.
- Profesor Titular en la Universidad Nacional del Litoral para la Carrera de Técnico en Seguridad Contra Incendios en la asignatura de Seguridad Contra Incendios III. Sistema de educación a distancia.
- Profesor en la Universidad Nacional del Litoral - Sede Rosario, para la Carrera de Lic. en Seguridad y Salud Ocupacional en la asignatura de Práctica Profesional.
- Profesor Titular en el Instituto Superior Federico Grote (Rosario - Santa Fe) para la Carrera de "Técnico Superior en Seguridad e Higiene en el Trabajo" para las asignaturas de Higiene y Seguridad en el Trabajo I, Seminario Profesional, Prevención y Control de Incendios II, y Prevención y Control de Incendios I.
- Profesor Interino Cátedra "Elementos de Mecánica". Carrera "Técnico Superior en Seguridad e Higiene en el Trabajo". ISFD Nro. 12 La Plata - 1.996
- Ayudante Alumno Cátedra "Termodinámica". Universidad Nacional de La Plata - Facultad de Ingeniería.
- Ayudante Alumno Cátedra "Análisis Matemático". Universidad Nacional de La Plata - Facultad de Ciencia Económicas.

®Todos los derechos reservados.

El derecho de propiedad de esta obra comprende para su autor la facultad exclusiva de disponer de ella, publicarla, traducirla, adaptarla o autorizar su traducción y reproducirla en cualquier forma, total o parcial, por medios electrónicos o mecánicos, incluyendo fotocopia, copia xerográfica, grabación magnetofónica y cualquier sistema de almacenamiento de información. Por consiguiente, ninguna persona física o jurídica está facultada para ejercitar los derechos precitados sin permiso escrito del Autor.

Editorial Red Proteger®

Rosario – Argentina

info@redproteger.com.ar

www.redproteger.com.ar

ÍNDICE

- 1) INTRODUCCIÓN
- 2) MEDIDAS CONTRA EXPLOSIONES POR GENERACIÓN SÚBITA
 - 2.1) Explosiones por Evaporación de Líquido que Entra en Contacto con Superficies Muy Caliente
 - 2.2) Autoconfinamiento de Gases Pesados
 - 2.3) Detonaciones
- 3) MEDIDAS CONTRA EXPLOSIONES POR ROTURA DEL RECIPIENTE
- 4) LO QUE LE SUCEDE AL RECIPIENTE
 - 4.1) Medidas en la Etapa del Diseño
 - 4.2) Medidas en la Etapa de la Fabricación
 - 4.3) Medidas Durante el Uso
- 5) LO QUE SUCEDE FUERA DEL RECIPIENTE
 - 5.1) Medidas Contra los Impactos
 - 5.2) Limitación de la Temperatura
- 6) MOTIVOS POR LO QUE SUCEDE DENTRO DEL RECIPIENTE
- 7) MEDIDAS PARA EXPLOSIÓN POR SOBRELLENADO
- 8) MEDIDAS PARA EXPLOSIÓN POR TRASVASE
- 9) MEDIDAS PARA EXPLOSIÓN POR DEFLAGRACIÓN
- 10) MÉTODOS GENÉRICOS CONTRA EXPLOSIONES POR DEFLAGRACIÓN
 - 10.1) Alivio (Venteo)
 - 10.2) Contención
 - 10.3) Contención y Alivio
 - 10.4) Aislamiento (Alejamiento)
 - 10.5) Ventilación
- 11) LIMITACIÓN DE LA PRESIÓN
- 12) SISTEMAS SUPRESORES DE EXPLOSIONES
 - 12.1) Antecedentes

- 12.2) Descripción
- 12.3) Funcionamiento
- 12.4) Aplicaciones
- 12.5) Aislación y Venteo
- 12.6) Limitaciones
- 12.7) Componentes del Sistema
- 13) PREVENCIÓN CONTRA LAS BLEVE
 - 13.1) Limitación de la Presión
 - 13.2) Introducción de Mallas que Retardan la Aparición de las BLEVE



1) INTRODUCCIÓN

El abordaje del estudio y análisis de los principios de prevención y control, y sobre los de protección y mitigación, de las explosiones industriales se hará siguiendo el estudio de estas que se hizo en el libro precedente “Dinámica de las Explosiones Industriales”.

El primer análisis o agrupamiento se realizará a través del estudio de las causas, las cuales se las puede dividir en:

- Explosiones por generación súbita.
- Explosiones por rotura del recipiente.
 - Desde el exterior al recipiente que contiene el producto.
 - Desde el lado del recipiente que contiene el producto.
 - Desde el lado del producto y del proceso que pasa en el interior.

2) MEDIDAS CONTRA EXPLOSIONES POR GENERACIÓN SÚBITA

2.1) Explosiones por Evaporación de Líquido que Entra en Contacto con Superficies Muy Caliente

Los sistemas de prevención en estos casos son sencillos y simples, en la teoría, simplemente hay que evitar en los lugares donde hay superficies extremadamente calientes (cubilotes de metales fundidos, altos hornos, etc.), el tendido de cañerías y sistemas de conducción de todo tipo de líquidos, tomar medidas de control en el manejo de chatarra que ingresa a los hornos, y el manejo de líquidos por la zona.

2.2) Autoconfinamiento de Gases Pesados

La prevención de este tipo de explosiones está más relacionadas a la prevención de incendios que de explosiones propiamente dicha, se pueden citar entre las medidas:

- Evitar escapes de gases.
- Sistema de monitoreo de gases.
- Delimitación de zona de seguridad o zona "Ex".
- Evitar trabajos o puntos calientes en el área de seguridad.

2.3) Detonaciones

El estudio de la prevención y protección contra detonaciones escapan a este material de lectura.

3) MEDIDAS CONTRA EXPLOSIONES POR ROTURA DEL RECIPIENTE

Tal como se cómo se presentó en la introducción, el análisis se hará siguiendo la misma división:

- **Lo que le Sucede al Recipiente.**

Todo lo que le sucede al propio recipiente se lo puede analizar siguiendo el eje temporal, es decir, cómo nace, se hace y se usa un recipiente a presión.

- **Lo que Sucede Fuera del Recipiente.**

Los eventos externos que pueden afectar a un recipiente se los puede dividir en dos grupos, uno relacionado con los proyectiles y el otro con el calor.

El fallo estructural del recipiente se puede producir por un calentamiento localizado o generalizado externo (por ejemplo un incendio en la zona de

almacenamiento) produciendo una disminución en la resistencia mecánica del recipiente, o por un proyectil externo (por ejemplo otra explosión) o por un impacto mayor como puede ser el choque de un vehículo.

- ***Lo que Sucede Dentro del Recipiente.***

Dentro del recipiente la explosión sucede por efecto del producto almacenado. El estudio en esta etapa está en relación con los distintos tipos de explosiones, entre ellas las físicas y las químicas.

4) LO QUE LE SUCEDE AL RECIPIENTE

Siendo en las explosiones confinadas, el recipiente el que juega el papel más importante en el proceso de la explosión, sin recipiente que contenga los productos y permita la elevación de la presión hasta la rotura del mismo, NO EXISTE explosión.

En la industria la mayoría de los productos que se utilizan no pueden estar sino dentro de un recipiente que los contenga, es entonces, que éstos merecen un análisis especial.

La prevención de los recipientes se la puede dividir en las siguientes etapas:

- Diseño.
- Fabricación.
- Transporte.
- Montaje.
- Uso.
- Mantenimiento.

4.1) Medidas en la Etapa del Diseño

La seguridad comienza en el diseño, aunque son palabras muy trilladas en materia de seguridad, marcan una gran realidad y una enorme diferencia. La mejor medida de prevención a aplicar en esta etapa es el diseñar siguiendo los lineamientos y exigencias de normas reconocidas en el tema, como lo son las normas ASME de los EEUU, u otras. También se puede agregar otras como diseñar formando grupos técnicos interdisciplinarios, revisión del diseño por terceros, etc.

Un adecuado conjunto de elementos de protección también aparece en esta etapa del diseño del recipiente y de su área de ubicación y contención.

4.2) Medidas en la Etapa de la Fabricación

Las medidas que se pueden adoptar para garantizar un adecuado proceso de fabricación son entre otras:

- Compra de materiales y elementos certificados.
- Control de la calidad de los materiales.
- Personal calificado.
- Control del proceso de fabricación.
- Soldadores y procesos de soldadura calificados.
- Control de las soldaduras mediante técnicas radiográficas y tintas penetrantes.
- Controles finales de entrega como ser: control de hermeticidad y prueba hidráulica.
- Traslado y montaje adecuado para evitar daños que puedan debilitar al equipo.

4.3) Medidas Durante el Uso

El uso de los recipientes conlleva la toma de determinadas medidas, que se las puede encuadrar en las siguientes:

- **Control periódico del recipiente**

Los controles periódicos más comunes son: medición de espesor de paredes, control de soldaduras mediante tintas penetrantes y/o radiografiado, prueba hidráulica e inspección visual.

- **Prevención**

Evitar el proceso de la combustión (para explosiones de deflagración).

En los recipientes sometidos a presión (explosiones físicas), se centra en medidas para evitar el fallo del equipo, y se las puede dividir en:

- Limitación de la presión.
- Limitación de la temperatura.
- Prevención y Protección contra los impactos.

- **Protección y Mitigación de las explosiones**

Equipos que tienen como objetivo limitar los daños de una explosión, una vez que está comenzando, o cuando se produjo.

- Suprimir y confinar la explosión.
- Reducir o resistir sus efectos.

5) LO QUE SUCEDE FUERA DEL RECIPIENTE

Entre los grupos de medidas a tomar están con relación al control del proceso de la combustión en el área externa al recipiente, y el control o protección contra impactos.

5.1) Medidas Contra los Impactos

Las técnicas de prevención de impactos pueden ir desde el refuerzo del grosor de las chapas que forman las paredes del recipiente, y el uso de aleaciones más dúctiles y elásticas (resisten mejor los impactos) hasta la protección de los fondos de las zonas delanteras y traseras de los vagones y las cisternas.

También se pueden instalar barreras protectoras contra impacto de vehículos si dichos recipientes se encuentran en las cercanías de un camino.

Para tanques del tipo fijo, una buena ubicación dentro del predio industrial, alejados de los procesos críticos, fuera de los caminos de circulación principal, tanto externo o interno, es de suma importancia para evitar impactos.

En áreas de almacenamiento de combustibles líquidos inflamables, plantas refinadoras de combustibles, parques de tanques de GLP o similares, se limita o prohíbe la circulación aérea.

5.2) Limitación de la Temperatura

La limitación de la temperatura puede lograrse por:

- Prevención contra el fuego.
- Refrigeración de los recipientes.
- Aislamiento de los recipientes.

5.2.1) Medidas Contra el Fuego

Por supuesto que lo mejor es evitar las combustiones incontroladas, pero en caso de que suceda un incendio, es necesario apagarlo o por lo menos limitar la intensidad de las llamas que llegan a los recipientes no afectados y/o el tiempo de exposición al fuego.

Entre los aspectos más sobresalientes se pueden citar:

- **Eliminar las fuentes de ignición**
 - Controlar la temperatura de las superficies.
 - Verificar certificaciones de los equipos eléctricos.
 - Control de tareas en caliente.
 - Control de la temperatura superficial de equipos eléctricos.
 - Control de fumadores.
 - Calentamiento espontáneo.
 - Controlar la fricción en bandas y rodillos.
 - Verificar lubricación de cojinetes.
 - Extraer objetos metálicos extraños.
 - Controlar descargas electrostáticas.
- **Condiciones del ambiente**
 - Evitar materiales combustibles innecesarios en la zona de seguridad.
 - Mantener las áreas ventiladas.
 - No almacenar recipientes a presión en ambientes interiores.

5.2.2) Refrigeración de los Recipiente

Tanto sea para limitar la cantidad de calor que llega producto de un incendio vecino, o para limitar la cantidad de calor por efectos de climas extremos, es necesario refrigerar los recipientes y esto se consigue con agua, es el método más efectivo cuando el problema es por causas térmicas.

La aplicación del agua puede evitar una explosión, pues forma una película sobre la chapa de acero que evita que la temperatura de las paredes del recipiente suba por encima de 100°C y, entonces, no es probable que a tal temperatura se reblandezca (pérdida de resistencia) o fisure el metal del recipiente.

Sin embargo, hay casos en que la aplicación de agua puede ser contraproducente. Es el caso de los gases criogénicos y que si se les rocía con agua a la temperatura normal, toman calor de esta y aumentan, por lo tanto, su presión interna.

La refrigeración se puede hacer con mangueras, sistemas de rociadores fijos y los sistemas monitorizados de rociado. Las mangueras, con boquillas de niebla, tienen la ventaja de su movilidad y versatilidad pero presentan cierta limitación de capacidad y necesitan, además, un cierto tiempo para su montaje. Los sistemas de rociadores y los monitorizados son más efectivos, pero sólo se puede disponer de ellos en algunas zonas de almacenamiento, determinadas unidades de proceso y en ciertas estaciones de carga y similares.

5.2.3) Aislamiento de los Recipientes

La limitación de propagación de altas temperaturas debidas a incendios, focos de calor intenso, etc. se puede conseguir también mediante el uso de adecuadas técnicas de aislamiento.

Hay varias técnicas: enterramiento, cubrimiento (tanques semienterrados) y revestimiento.

El enterramiento y cubrimiento son sistemas obvios de protección antitérmica muy utilizados en almacenamiento de GLP y para ciertos hidrocarburos.

Los sistemas de revestimiento son variados: lanas de vidrio, poliuretano, ciertos cementos, sustancias bituminosas, etc.

Cuando el revestimiento se diseña para la protección de explosiones se suelen proyectar para resistir un determinado tiempo, pasado el cual se supone que otras medidas de protección entrarían en funcionamiento (refrigeración externa).

5.2.4) Cubetas de Retención

Si bien la cubeta de retención tiene la misión fundamental de retener un derrame accidental del o de los depósitos existentes en su interior, para evitar la propagación de incendios por la sustancia derramada, cabe destacar la necesidad de que dichas cubetas cuenten con un sistema de desagüe que permita su rápido vaciado y traslado del fluido derramado a un contenedor seguro. Evidentemente la superficie de la cubeta ofrecerá una pendiente necesaria para facilitar el desagüe. Se han producido accidentes precisamente por combustiones de la sustancia retenida en la cubeta que han provocado la explosión de los recipientes situados en él.

Es, además, necesario que en la zona de la cubeta no exista bombas y equipos que pueden ser causas de escapes o de incendios en esa área, que debe ser considerada como peligrosa.

Toda tubería que atraviese los muros perimetrales de la cubeta deberá estar recubierta con juntas de estanqueidad.

6) MOTIVOS POR LO QUE SUCEDE DENTRO DEL RECIPIENTE

Lo que sucede dentro del recipiente que puede generar una explosión se debe al aumento de la presión interna que en un momento determinado supera la capacidad de resistencia del recipiente.

Este aumento de la presión se debe a dos mecanismos diferentes:

- Por fenómenos físicos
 - Por escape de gases comprimidos
 - Sobrellenado
 - Trasvase
 - Por escape de gases licuados (BLEVE)

- Por fenómenos químicos
 - Por reacciones uniforme
 - Explosión térmica (sin tratar)
 - Por reacciones de propagación
 - Explosiones por deflagración
 - Explosiones por detonación (sin tratar)

7) MEDIDAS PARA EXPLOSIÓN POR SOBRELLENADO

Puede suceder cuando se produce el llenado de recipientes con gas y por razones de costos o de error se le agrega más carga de gas que la admitida por razones de diseño y de seguridad del recipiente.

Las medidas a adoptar pueden ser:

- Pico de carga con válvula de corte por presión.
- Válvula de seguridad en el recipiente.

8) MEDIDAS PARA EXPLOSIÓN POR TRASVASE

Puede suceder cuando se carga un recipiente con gas proveniente de otro recipiente con gas a mucha mayor presión que la que resiste el recipiente receptor.

Las medidas a adoptar pueden ser:

- Uso de regular de gas en la conexión.
- Válvula de seguridad en el recipiente.

9) MEDIDAS PARA EXPLOSIÓN POR DEFLAGRACIÓN

La principal medida pasa por evitar que se produzca la reacción química dentro de un ambiente confinado o cerrado, y dependiendo del tipo de reacción química y materiales que están reaccionando va a depender las medidas específicas de prevención y protección, que escapan su estudio a este material de lectura.

10) MÉTODOS GENÉRICOS CONTRA EXPLOSIONES POR DEFLAGRACIÓN

Se trata de las técnicas encaminadas a neutralizar los efectos de una deflagración que ya se ha producido. Estas medidas no son efectivas o resultan impracticables en el caso de las detonaciones, salvo la técnica de aislamiento. Las detonaciones sólo pueden combatirse con medidas de prevención.

Pueden distinguirse las siguientes técnicas de neutralización:

- Alivio (Venteo)
- Contención
- Contención y Alivio
- Aislamiento (Alejamiento)
- Ventilación

10.1) Alivio (Venteo)

Desvío de la explosión mediante la rotura de aliviadores, de forma que se disipe en el entorno sin provocar años.



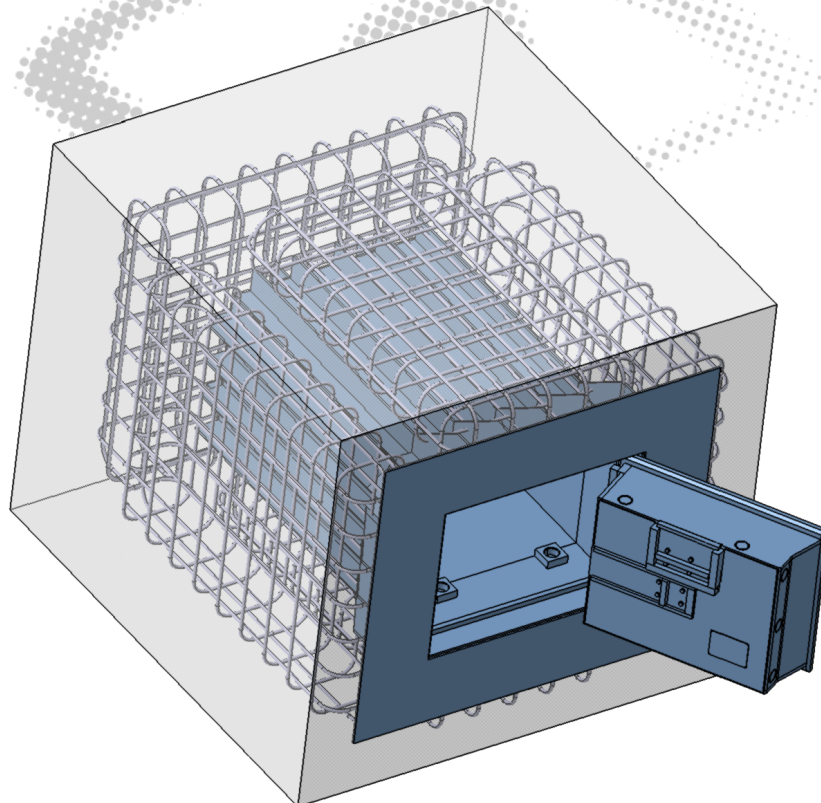


10.2) Contención

Confinamiento de la deflagración en el recipiente o conducto en que se produce. La contención requiere el concurso de dos factores:

- a) Que el recipiente sea resistente a la presión generada por la deflagración.
- b) Que la deflagración no pueda propagarse a otros conductos y recipientes. Esto se consigue, según el caso, mediante el empleo de una o varias de las técnicas siguientes:

- El cierre rápido automático de los sistemas de transporte neumático o de los conductos de combustible.
- El establecimiento de barreras contra explosiones de cierre rápido y automático. La mayoría de las válvulas de compuerta rotativa y de los transportadores helicoidales utilizados en las plantas industriales de tratamiento de sólidos pulverulentos constituyen barreras efectivas. En otro tipo de plantas puede ser necesario utilizar válvulas de aislamiento de alta velocidad de cierre.
- El establecimiento de barreras de agentes supresor mediante una descarga rápida y automática.
- La inertización anticipada de los conductos y recipientes contiguos.



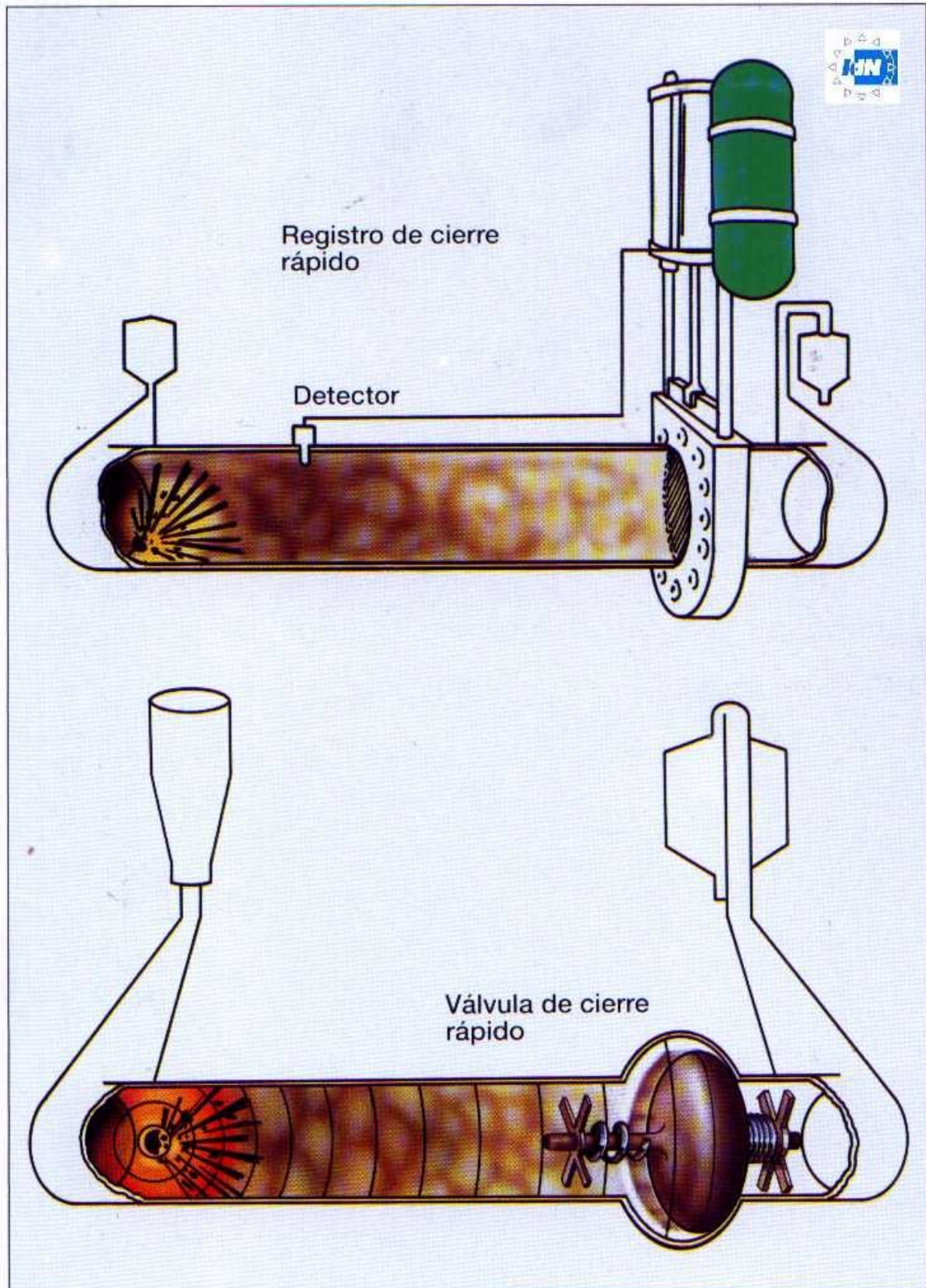


Fig. 13: Aislamiento de la explosión mediante registro de cierre rápido, o mediante válvula de cierre rápido.

10.3) Contención y Alivio

Técnica que combina elementos o materiales resistentes a la presión (elementos constructivos en el caso de recintos y materiales en el caso de recipientes) y aliviadores de presión.

10.4) Aislamiento (Alejamiento)

Alejamiento del recipiente o recinto peligroso del resto de las instalaciones. Suele combinarse con la técnica de contención y alivio. Se utiliza como protección contra las detonaciones de depósitos auxiliares de sustancias explosivas, como la nitrocelulosa.

10.5) Ventilación

La ventilación es el medio de crear una zona abierta en las paredes del recinto donde se desarrolla el proceso, generalmente eliminando las paredes o gran parte de estas, de forma tal que las corrientes naturales de aire se lleven las potenciales acumulaciones de gases combustibles en el interior del recinto.



11) LIMITACIÓN DE LA PRESIÓN

La limitación de presión tiene como objetivo la protección del tanque o recipiente por efectos externos, fundamentalmente el calor, o por problemas internos, un sobre llenado, o ambos al mismo tiempo.

Se consigue por medio de mecanismos que actúan cuando el valor de la presión interna dentro de un recipiente sometido a presión, supera el valor de calibración del mecanismo de alivio. Esta presión está determinada en función de la resistencia mecánica del recipiente más un factor de seguridad apropiado.

Se los puede encontrar entre estos mecanismos a tres elementos que son los más usados:

- ***Válvula de seguridad.***

Consiste en un tapón que se abre cuando la presión interna supera la presión de calibrado de la válvula y permite liberar fluido por el escape. Cuando esto ha sucedido, vuelve a la posición original. Esto es posible gracias a que dispone de un resorte calibrado, que se ajusta para determinar el punto en que es necesario dejar ir el fluido.

- ***Disco de ruptura.***

El disco de ruptura es un dispositivo que cumple una función similar a la válvula de seguridad, pero es de un solo uso.

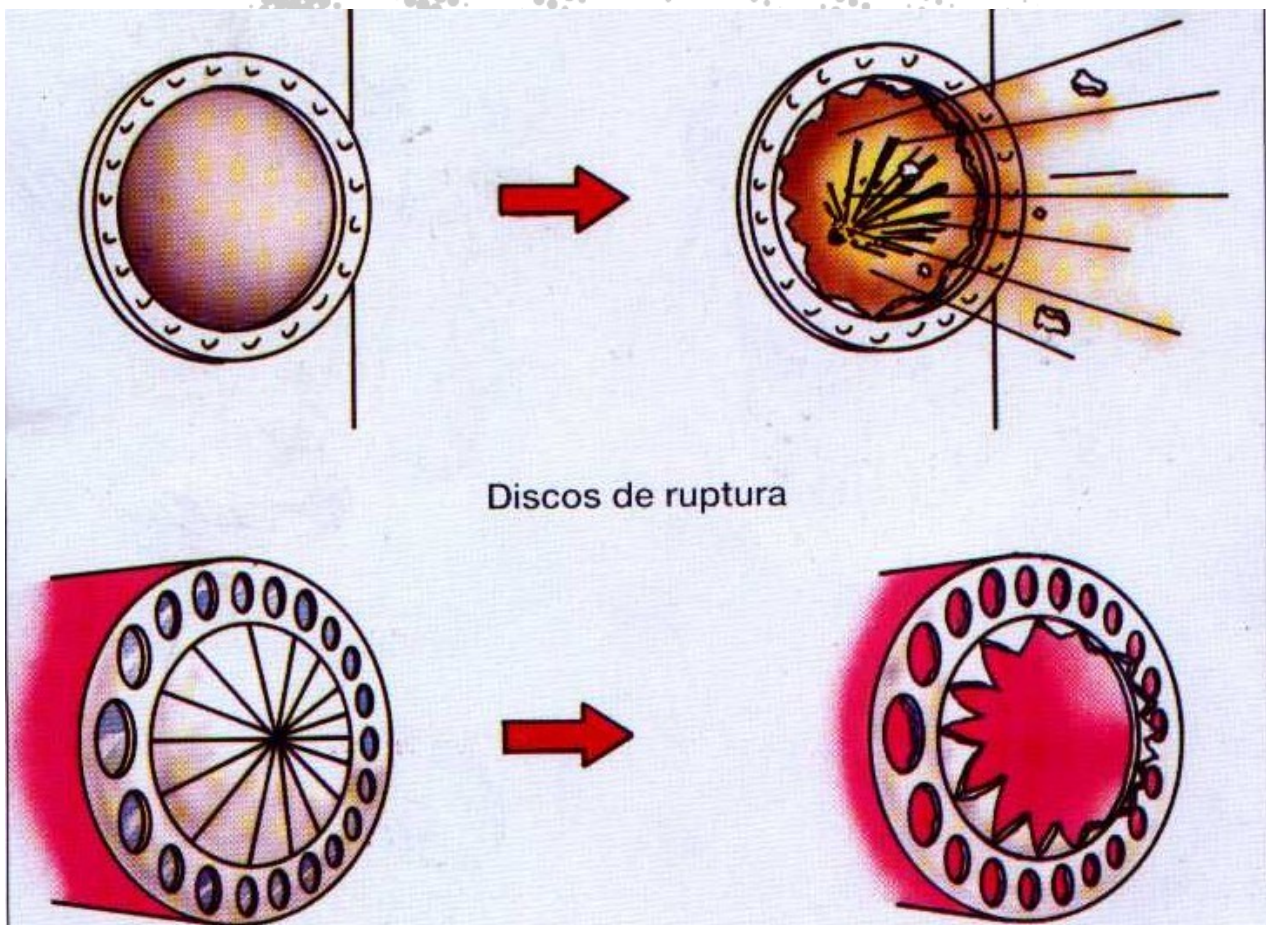
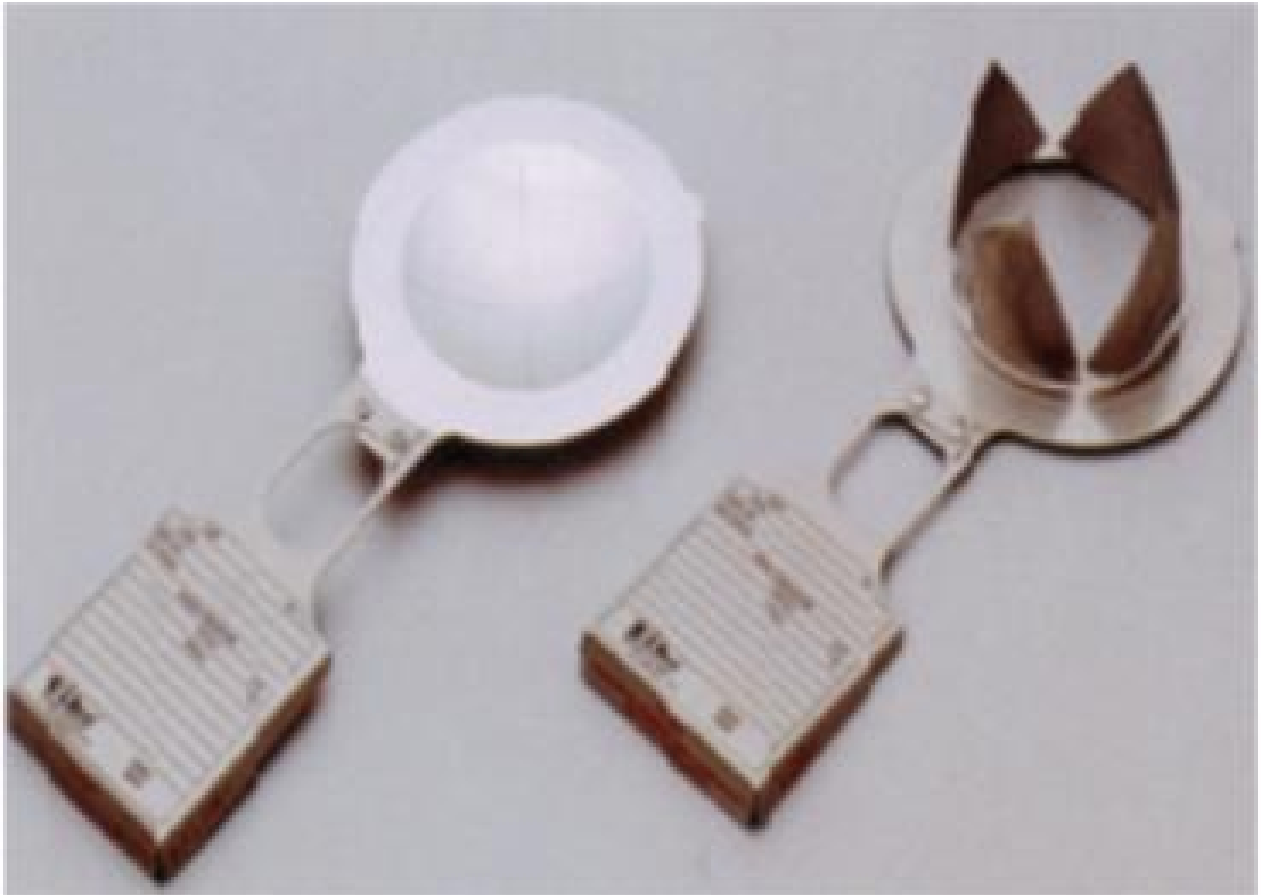
Permite aliviar la presión de un equipo de forma instantánea liberando todo el contenido del recipiente.

- ***Tapón fusible.***

Similar al anterior, pero se trata de un tapón que es expulsado cuando la presión interna supera al del calibrado del mismo. Es de un solo uso y permite el escape de todo el contenido del recipiente.



Válvula de Seguridad



12) SISTEMAS SUPRESORES DE EXPLOSIONES

12.1) Antecedentes

En el año 1.912 una compañía alemana patentó un extintor rápido de polvo seco. Este es el primer sistema supresor rápido de incendios del que se tiene noticia. La Segunda Guerra Mundial aceleró el desarrollo de estos sistemas. Las estadísticas de la RAF mostraron que el 80% de las pérdidas totales de aviones en combate eran debidas a incendios. Como resultado, en el Reino Unido se desarrolló un sistema de extinción ligero y de alta eficacia para proteger los motores y el sistema de alimentación de combustible de los aviones. En Alemania se desarrolló un sistema similar.

El funcionamiento de estos extintores de acción rápida se basaba en tres elementos:

- La presurización permanente del agente extintor.
- El gran diámetro del orificio de descarga.
- La gran velocidad de apertura de la válvula de descarga, provocada por medio de una carga explosiva.

Estos tres elementos, combinados con un sistema de detección rápida de llama o de incremento de presión, constituyen la base de los actuales sistemas supresores.

12.2) Descripción

Un sistema supresor de explosiones es un dispositivo que detecta una deflagración dentro de un recipiente o de un recinto en los momentos iniciales de la oxidación y que descarga un agente extintor adecuado en la cantidad y con la velocidad

necesarias para detener la reacción antes de que se alcancen presiones capaces de producir una explosión, entendiendo como tal:

- La rotura de un recipiente o de un contenedor debido a una sobrepresión interna, seguida de una onda de expansión destructiva en el interior.
- La propagación de una onda de presión destructiva en el interior de un conducto o de una galería.

Conviene destacar dos aspectos:

1. Los sistemas supresores protegen contra explosiones cuyo origen es una deflagración. Es decir, contra explosiones de origen químico causadas por una reacción de oxidación cuyo frente de reacción avanza a velocidad subsónica.

En las detonaciones, el frente de reacción avanza a velocidad sónica o supersónica y el incremento de presión es tan rápido que no hay tiempo material para su detección y mucho menos para su supresión.

2. Estos sistemas suprimen deflagraciones en el interior de recipientes y recintos (contenedores, conductos, recintos de pequeñas dimensiones y galerías).

No es necesario que el recipiente o recinto esté completamente cerrado, pero sí que ejerza un efecto de confinamiento sobre la nube explosiva y que sus dimensiones sean limitadas. Sólo así pueden tener lugar una detección y una supresión efectivas.

Por otra parte, en las deflagraciones libres rara vez se alcanzan presiones peligrosas (una excepción a esto son las explosiones de nubes de vapor no confinadas hasta convertirse en detonación).

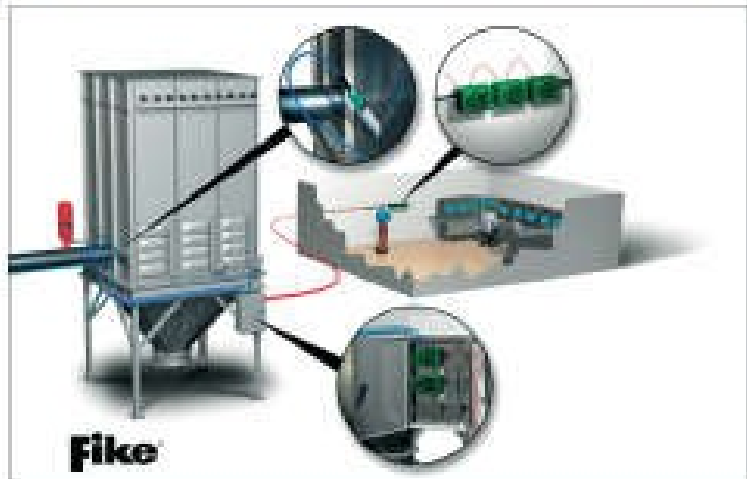
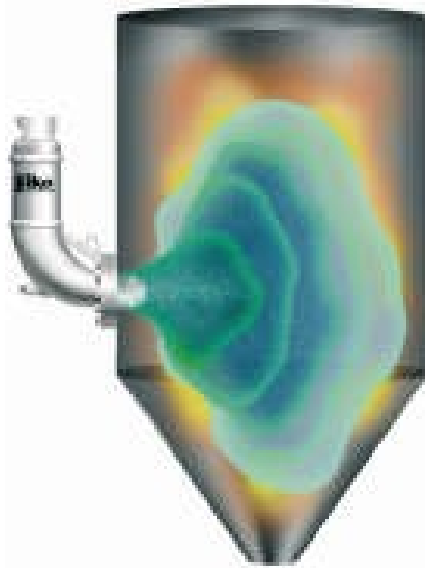
12.3) Funcionamiento

Un sistema supresor se compone de cuatro tipos de elementos: detectores, supresores, agente supresor y equipo eléctrico de control.

Los principios de funcionamiento del sistema son similares a los de un sistema de extinción automática de incendios: detección precoz y descarga rápida de un agente extintor adecuado. Pero la escala de tiempo es diferente. Desde el inicio de la deflagración hasta que se generan presiones peligrosas para el recipiente transcurre un período de tiempo tan corto que ha de medirse en milisegundos.

En ese período de tiempo ha de producirse la detección, la señal de descarga y la descarga. Esto requiere la combinación de los elementos siguientes:

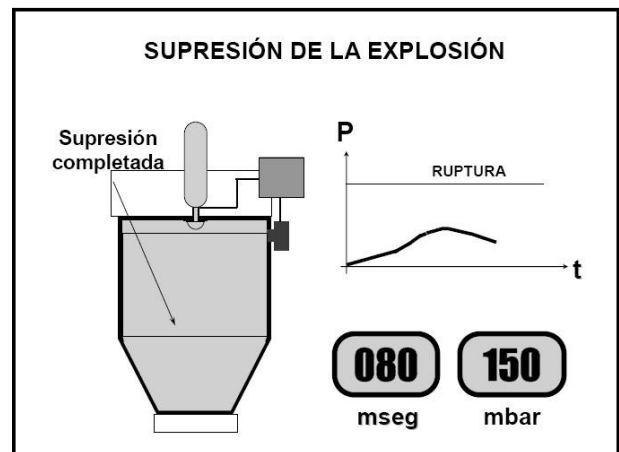
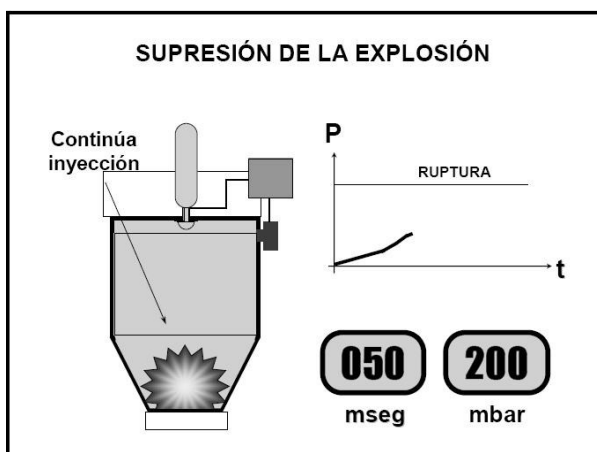
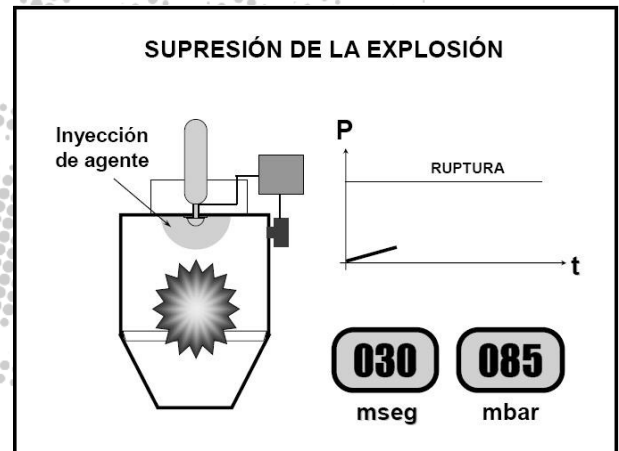
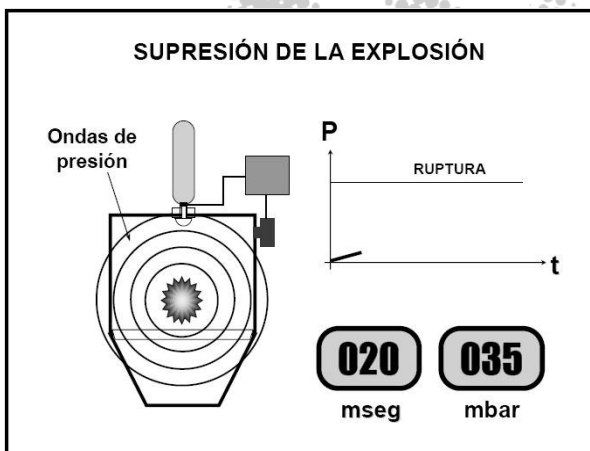
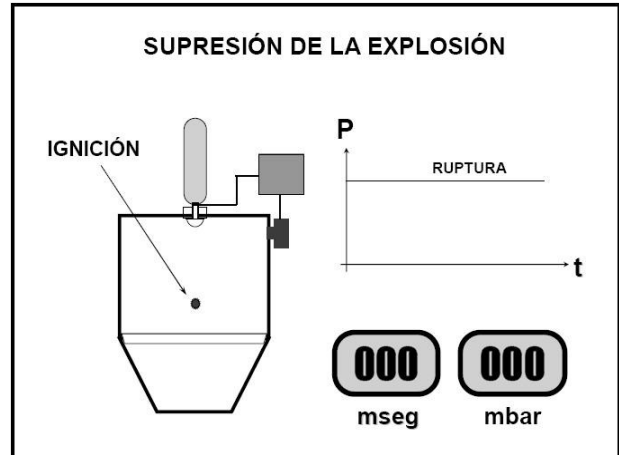
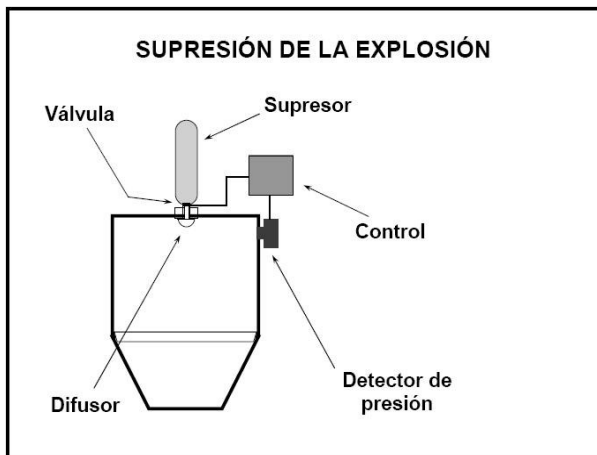
- La detección debe ser extremadamente rápida y fiable, para que no se produzcan falsas alarmas y descargas erróneas.
- La descarga debe ser extremadamente rápida, el agente extintor adecuado y la cantidad de agente extintor suficiente para suprimir la deflagración.

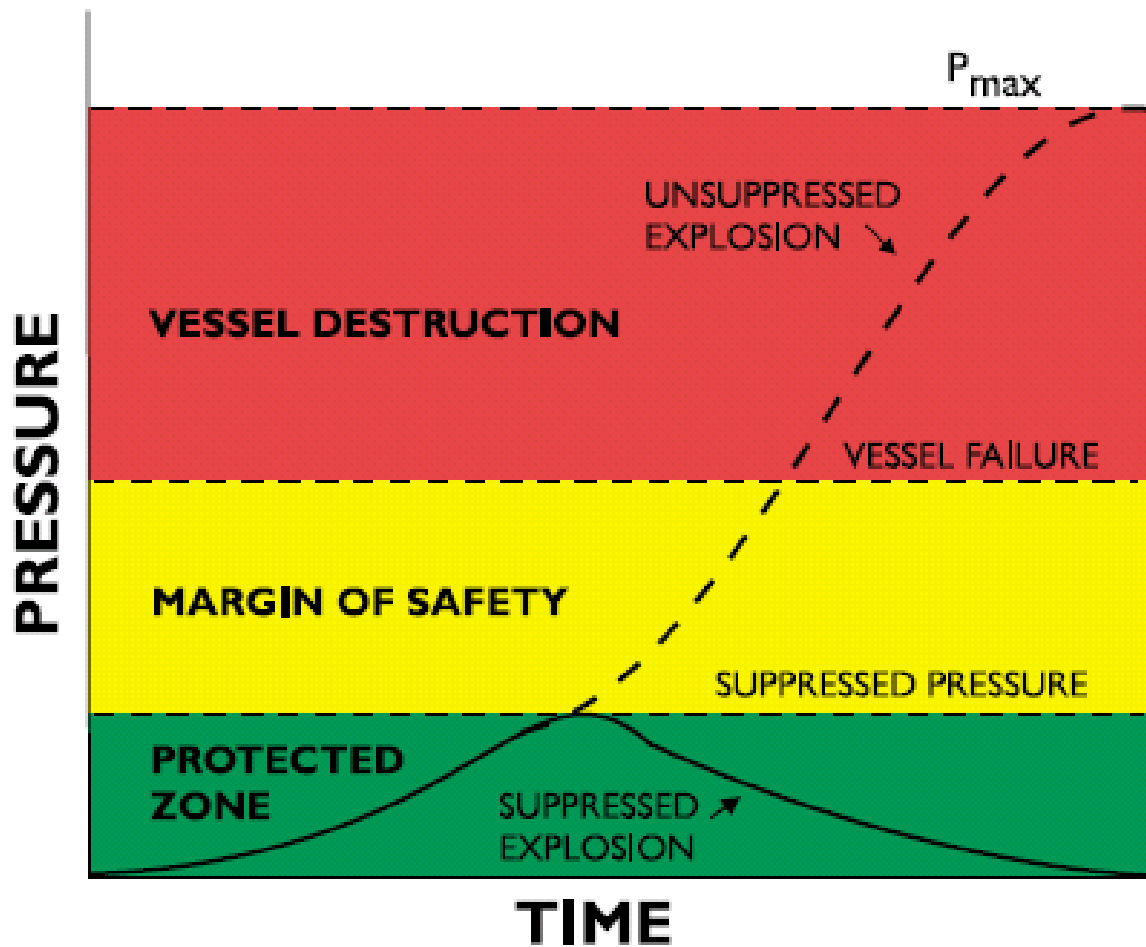


En el funcionamiento de un sistema supresor se pueden distinguir las fases siguientes:

1. **Ignición:** comienza la deflagración.
2. **Detección:** el aumento de presión o la radiación de la llama activan el detector y se produce la señal de disparo del supresor.
3. **Disparo:** se inicia la descarga del agente supresor.

4. **Presión máxima:** continúa la descarga de agente supresor. La presión interna del recipiente suma de las generadas por la deflagración y por la descarga de agente supresor, alcanza su valor máximo.
5. **Conclusión:** la deflagración ha sido suprimida y la presión desciende lentamente.





Typical time versus pressure curve of a suppressed and unsuppressed explosion

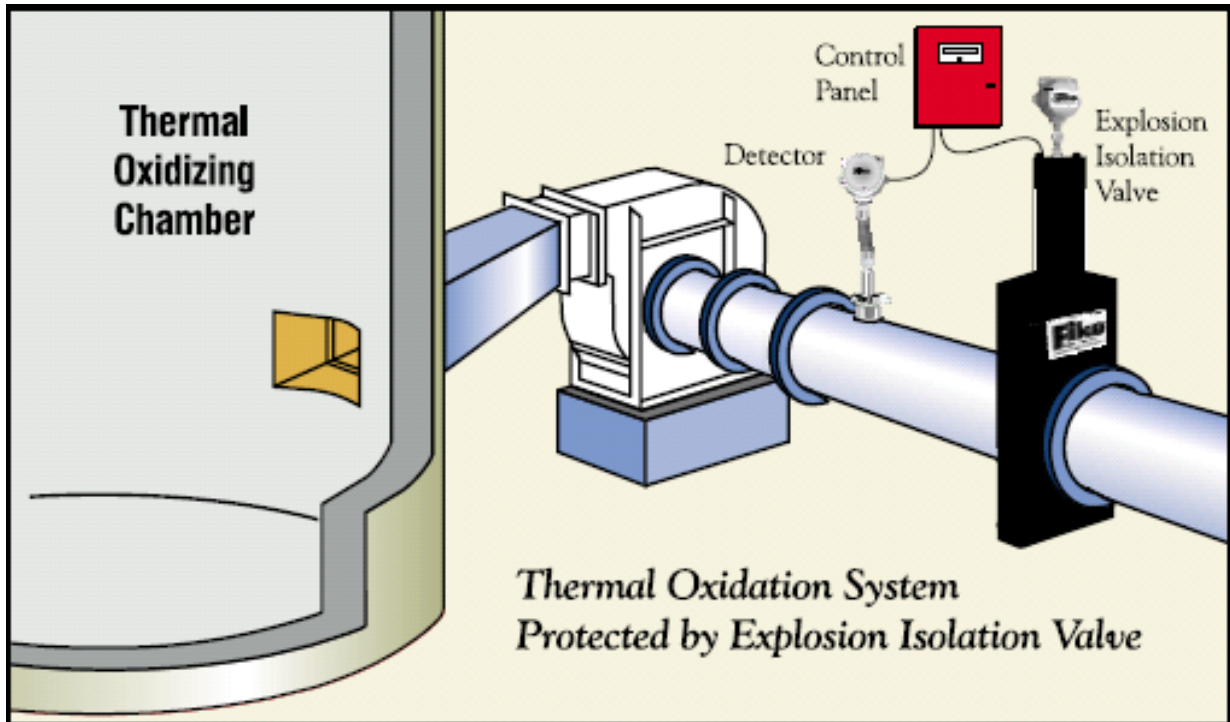
12.4) Aplicaciones

En principio, los sistemas supresores de explosiones pueden utilizarse para proteger tanto recintos (como una alternativa a la técnica de contención y alivio, que combina elementos constructivos resistentes y aliviadores de presión) como equipos de proceso (como una alternativa a la técnica de alivio). Sin embargo, rara vez se emplean para proteger recintos, a causa de las limitaciones que suponen la resistencia mecánica necesaria en los muros, el volumen del recinto y la seguridad del personal.

Los sistemas supresores de explosiones se utilizan generalmente para proteger equipos de proceso, recipientes, conductos y galerías.

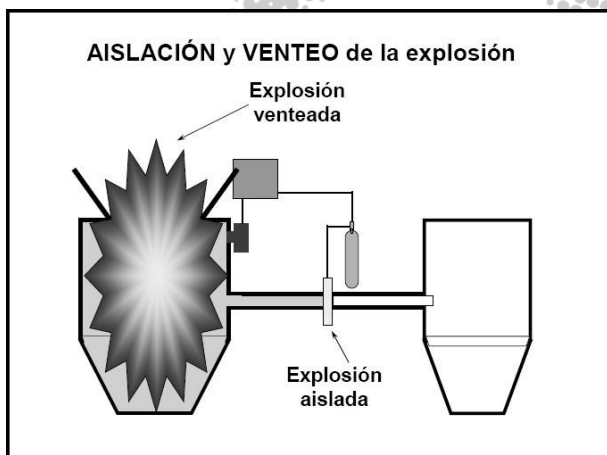
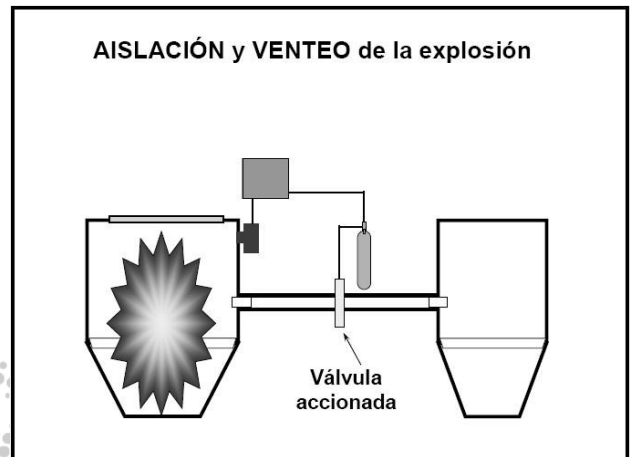
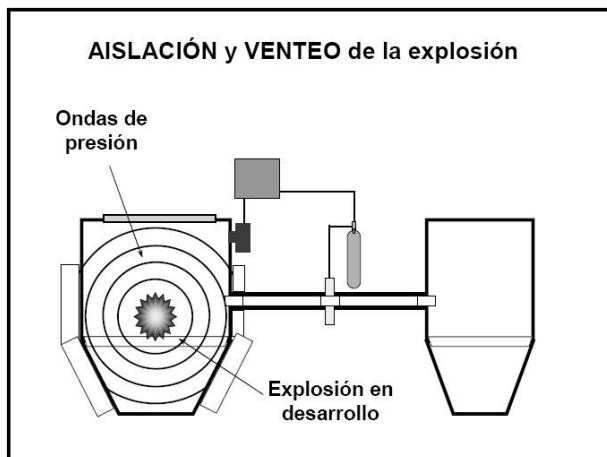
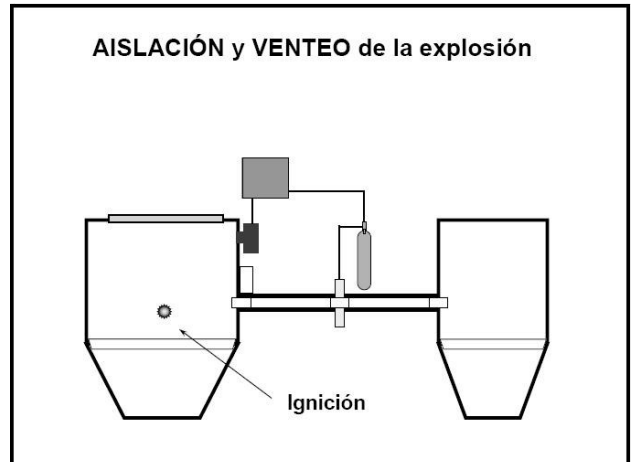
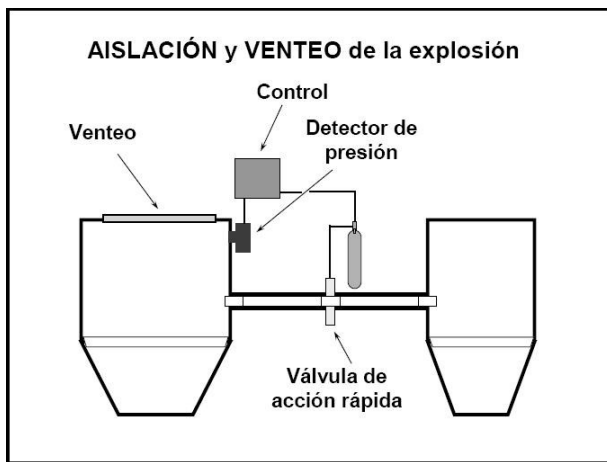
Las aplicaciones más frecuentes son las siguientes:

- **Depósitos de Líquidos Inflamables:** La supresión de explosiones comenzó en los tanques de combustibles de los aviones. Se utiliza en los parques de almacenamiento de líquidos inflamables para evitar la rotura de los depósitos por explosión y la extensión del incendio a los depósitos contiguos.
- **Procesos de Molienda, Trituración y Pulverización:** La supresión de explosiones se utiliza en procesos tales como la molienda de grano y manipulación de harina, la trituración y mezcla de plásticos y la pulverización de carbón.
- Los sistemas supresores se instalan en los molinos, trituradores o pulverizadores, en los mezcladores, en los silos de recogida de productos, en los elevadores de cangilones, en los conductos y en los equipos y silos de recogida de polvo.
- **Procesos de la Madera:** En los procesos de macizo, los sistemas supresores se utilizan para proteger los silos de recogida de polvo y viruta. En los procesos de aglomerado, se instalan en los silos dosificadores y clasificadores de partículas.
- **Secadoras Industriales**
- **Minería del carbón**



Explosion suppression system applied to pipeline

12.5) Aislación y Venteo





12.6) Limitaciones

La aplicación de los sistemas supresores se ve limitada por los siguientes factores:

- **La velocidad del incremento de presión:** Las oxidaciones con una gran velocidad de reacción llevan asociada una gran velocidad de incremento de presión y son difíciles de controlar con un sistema supresor, porque antes de que el sistema haya podido completar la supresión puede alcanzarse una presión suficiente para romper el recipiente.

Los sistemas supresores realizan el ciclo completo detección-supresión en un tiempo comprendido entre 20 y 150 ms, según los casos. Durante este tiempo se produce cierto incremento de presión, debido a la deflagración incipiente y a la descarga del agente extintor del recipiente.

Esto elimina del campo de aplicación de los sistemas supresores todas las detonaciones y determinadas deflagraciones.

- **La resistencia del recipiente:** Una consecuencia directa de lo expuesto en el párrafo anterior es que el recipiente debe tener una resistencia generalmente superior a 20 kPa, o de lo contrario el sistema supresor no podrá evitar su rotura.

- **El volumen del recipiente:** Cuando mayor sea el recipiente, se requieren una mayor cantidad de agente extintor y una mayor velocidad de descarga. Esto significa que con el volumen aumentan las dificultades técnicas y el coste de la supresión. Se han realizado ensayos de supresión de explosiones de polvo en recipientes de hasta 250 m³ con resultados satisfactorios, en general no se considera factible la supresión de explosiones en recipientes de volumen superior a 550 m³.
- **El contenido del recipiente:** Las sustancias de nitrato de celulosa, que contienen en su estructura molecular propia fuente de oxígeno, no pueden ser protegidas con un agente supresor en la medida en que la oxidación puede continuar en una atmósfera inerte.

12.7) Componentes del Sistema

Los sistemas supresores se componen de cuatro tipos de elementos: los detectores, los agentes supresores y el equipo eléctrico de control.

12.7.1) Detectores

Para detectar la deflagración en sus momentos iniciales se emplean los llamados detectores o sensores de explosión. Estos elementos pueden ser de dos tipos: detectores de presión y detectores ópticos de llama.

a) Detectores de Presión

Los detectores de presión son interruptores de alta fiabilidad y gran velocidad de respuesta. Están constituidos por una cámara plana, generalmente de forma cilíndrica, uno de cuyos lados está cerrado por un diafragma de baja inercia y elevada sensibilidad a las variaciones de presión. Al producirse un incremento de

presión, se desplaza el diafragma y cierra unos contactos alojados en el interior de la cámara.

Los detectores de presión pueden ser presostáticos, actúan cuando la presión supera un valor prefijado; presovelocimétricos, actúan cuando la velocidad del incremento de presión supera un valor prefijado; y, mixtos, de doble acción presostática y presovelocimétrica.

Los detectores de presión se utilizan normalmente para explosiones de nubes de polvo.

b) Detectores Ópticos de Llama

Los detectores ópticos de llama son sensibles a la radiación emitida por una minúscula llama inicial de la deflagración. Pueden ser detectores de radiación ultravioleta, infrarroja o mixta.

Los detectores ópticos se utilizan en los casos en los que los detectores de presión pueden resultar ineficaces, como por ejemplo:

- En recipientes parcialmente abiertos, en los que el incremento de presión puede ser demasiado lento.
- En recipientes de baja resistencia a la presión interna.

También se utilizan en los casos en los que la deflagración suponga un riesgo de incendio generalizado en todo el proceso.

Los detectores ópticos implican un mayor mantenimiento y normalmente son menos fiables que los de presión. Aunque normalmente no son afectadas por la luz ambiental, pueden actuar ante falsa señales, como llamas de proceso, chispas eléctricas, materiales incandescentes y corrientes eléctricas inducidas.

Los detectores ópticos se emplean generalmente para explosiones de gases o vapores inflamables o de líquidos nebulizados.

12.7.2) Agentes Supresores

Los agentes supresores que se han venido empleando tradicionalmente son los hidrocarburos halogenados, el polvo químico y el agua.

La selección del agente supresor depende de los factores siguientes:

- La efectividad del agente para el tipo de deflagración.
- Su persistencia o capacidad de inertización una vez completa la supresión. Esta cualidad es muy importante en presencia de fuentes de ignición persistentes, tales como un cojinete sobrecalentado.
- Su compatibilidad con los productos y materiales presentes en el proceso.
- Su limpieza o factibilidad de limpieza.
- Su grado de contaminación ambiental.
- Su toxicidad.
- Su coste.

12.7.3) Supresores

Los supresores son los recipientes que contienen y almacenan el agente supresor. En el campo de la protección contra explosiones hay tres tipos de supresores:

- ***Supresores de deflagración***

Extintores automáticos de alta velocidad de respuesta y alta velocidad de descarga. Son los extintores de deflagración característicos de los sistemas supresores. Su misión principal es suprimir deflagraciones, pero también extingue incendios.

- ***Supresores inertizadores***

Extintores automáticos de alta velocidad de respuesta. Su velocidad de descarga es menor que la de los supresores de deflagración. Su misión

principal es inertizar con agente supresor pequeños espacios entre partes del proceso, para evitar la propagación de la deflagración y del incendio de una parte a otra. También extingue incendios.

- ***Supresores barreras***

Extintores de alta velocidad de respuesta y velocidad de descarga media. Su misión principal es establecer barreras de agente supresor en conductos, para frenar el frente de llama de la deflagración. También extingue incendios.

12.7.6.4) Equipo de Control

El equipo de control de un sistema supresor de explosiones se compone de los elementos siguientes:

- Fuente de alimentación fiable, equipada con baterías de emergencia y con la potencia suficiente para activar todos los detonadores y todas las alarmas acústicas y visuales del sistema.
- Central del control, dotada con mecanismos de accionamiento, señalización y alarma.
- Circuitos de detección y detonación, dotados con un sistema de supervisión automática de avería y debidamente protegidos contra fallos de aislamiento y corrientes inducidas.

Todos los elementos del equipo de control que están situados en un emplazamiento clasificado como peligroso, según la reglamentación electrotécnica en vigor, deben ser material "Ex", es decir, dotado de protección contra el riesgo de explosión.

13) PREVENCIÓN CONTRA LAS BLEVE

La BLEVE genera graves consecuencias, fundamentalmente por radiación térmica en el caso de gases licuado del tipo combustibles. Una vez el fenómeno se ha producido, es difícil evitar la propagación de incendios y posibles explosiones a recipientes próximos, como los que normalmente se encuentran en las áreas de almacenamiento de líquidos y gases inflamables. La radiación térmica que genera la bola de fuego formada, el incendio del líquido derramado y el posible impacto de trozos de recipiente proyectados en la explosión, provocan que los recipientes metálicos próximos y englobados por dicha bola, si no disponen de protección, no sean capaces de resistir el calor recibido y el impacto, provocando su rotura y el consecuente efecto dominó de propagación.

Para prevenir la aparición de una BLEVE, además, de algunos de los sistemas descritos con anterioridad, hoy en día se cuenta con los siguientes desarrollos:

- Rediseño de válvulas de seguridad y discos de ruptura.
- Introducción de malla que retardan la aparición de la BLEVE.

13.1) Limitación de la Presión

13.1.1) Diseño Adecuado de Válvulas de Seguridad y Discos de Ruptura

Si bien las válvulas de seguridad que funcionan normalmente, y con los diseños clásicos, no suelen originar BLEVE tampoco las suelen evitar aunque puedan, eso sí, retrasar el tiempo de ocurrencia e incluso, al ir descargando en sucesivas aperturas, hacer la BLEVE muy improbable por desalojamiento relativo del fluido.

Ahora bien, combinando los conocimientos sobre funcionamiento de las válvulas de alivio con las teorías descritas sobre los líquidos sobrecalentados y las

nucleaciones espontáneas, se pueden evitar las BLEVES mediante el rediseño de las válvulas de seguridad.

La manera de hacerlo es dimensionando la válvula para que abra a una presión más baja que la correspondiente al punto de corte de las "Superheat Limit Locus" con el eje de temperaturas.

Los discos de ruptura pueden ser rediseñados para prevenir que cuando entren en funcionamiento, por subidas de la presión, no se produzca, inmediatamente después, caídas bruscas de la misma. Es recomendable varios discos de ruptura, que con distintas presiones de ruptura y capacidades de desalojo diferentes, eviten la generación de caídas de presión excesivamente bruscas.

13.1.2) Control del Grado de Llenado de los Recipientes

Es una medida de seguridad fundamental, no sobrepasar nunca el llenado máximo permitido, el cual está en función de las características del fluido y de sus condiciones de almacenamiento.

Ningún recipiente es capaz de resistir la sobrepresión que se genera sobre sus paredes interiores a causa de la dilatación del propio líquido al aumentar la temperatura. Por este motivo el depósito debe estar dotado de los adecuados sistemas de regulación y control del nivel de llenado.

13.2) Introducción de Mallas que Retardan la Aparición de las BLEVE

Aunque, por su modernidad, todavía está en fase de experimentación, es un sistema de retardo en la aparición de las BLEVES que puede permitir, en ese tiempo que se gana, aplicar otros sistemas preventivos.

Consiste en una malla metálica formada por láminas expandidas de una aleación de aluminio en forma de celdillas hexagonales que, aplicada en el interior de los recipientes, en forma de capas, en anillo, compactas del producto, alrededor de la

superficie interior del recipiente o en masa, cubriendo todo su volumen, parece conseguir los tres siguientes efectos:

- En caso de incendio que afecte al depósito, distribuye el calor por toda la masa del líquido, y del gas, del recipiente, con lo que evita recalentamientos locales, en las zonas de la chapa que lame la llama, evitando que ésta se reblandezca. Ello retrasa la aparición de las temidas fisuras que pueden ser las iniciadoras de la BLEVE.
- Por otro lado, al lograr una mejor distribución del calor por toda la masa del líquido y, sobre todo, por la fase gas consigue que el incremento de la temperatura, en la zona gaseosa se realice homogéneamente con lo que, consecuentemente, la presión no aumentará tan rápidamente como lo haría si no tuviera la malla interior. Esto hace también que el tiempo de aparición de una posible BLEVE se retrase bastante.
- Sí, además, el recipiente contuviese circunstancialmente aire y combustible, es proporción detonante, la BLEVE tampoco se produciría o lo haría en muy pequeña escala pues las celdillas de la lámina ejercen una función que favorece el apagado y la dispersión del calor generado.

Evidentemente también esta solución de introducción de estas mallas de aluminio tiene su desventaja que es necesario estudiar. Señalaremos las más significativas:

- Su relativo alto costo.
- Pérdida del volumen real de un recipiente en, aprox., el 2% de su capacidad.
- En el caso de cisternas de transporte, aumenta su peso muerto en unos 1.500 Kg., que es lo que pesa, aprox., para una cisterna de unos 40 m³.
- Ciertos problemas de polimerización, limpieza, falta de fluidez en productos con elevada viscosidad, posibles reacciones con ciertos productos químicos, etc.

- Hace más complicadas las reparaciones y revisiones de los recipientes que contienen la malla.

Referencias Bibliográficas Generales

- Manual NFPA de Protección Contra Incendios – Editorial MAPFRE NFPA - Cuarta Edición en castellano – 1993.
- “Explosiones” del Ing. Eduardo D. Álvarez, SFPE - Director Región Cono Sur - International Fire Safety Consulting del Cono Sur S.A. - EDAR Ingeniería [edaringe@edaringe.com.ar].

