

Documentos IAEM

EXPLOSTOP: un sistema preventivo contra explosiones BLEVE

© **Juan Carlos Mañero**
<http://www.explostop.com>
explostop@gmail.com
Diciembre, 2009

1. INTRODUCCIÓN

Nuestro desarrollo y bienestar actual se debe en gran parte a la utilización de la energía procedente de fuentes fósiles: petróleo y gas. Los productos derivados de los mismos deben almacenarse y transportarse en depósitos que suelen ser generalmente herméticos.

Con relativa frecuencia vemos y escuchamos en los distintos medios de comunicación explosiones de gas, combustibles o productos inflamables contenidos en depósitos. En estos momentos viene a mi mente el accidente ocurrido en Paterna (Valencia) en la manipulación de descarga de glicerina, donde murió un operario de 35 años, o el estallido de un camión cisterna de gasolina en Kenia donde murieron 111 personas y más de 200 heridas, supuestamente, por la ignición de un cigarrillo en el lugar de los hechos.

Generalmente estas explosiones corresponden con aquellas que reciben el nombre de BLEVE (Boling Liquid Expanding Vapor Explosión) que en español sería: explosión del vapor al expandirse un líquido en ebullición. Para que se produzca una explosión BLEVE deben reunirse determinadas circunstancias:

- Que se trate de un líquido o gas licuado sometido a una gran temperatura y presión, por lo tanto contenidos en depósitos herméticos.
- Líquido sobrecalentado
- Bajada súbita de la presión del depósito

Las explosiones pueden ser producidas por un accidente, atentado, manipulación inadecuada, etc. que generan una liberación instantánea de la energía contenida en ese recipiente a través del combustible. Este combustible líquido pasa a ser gas en un instante como podemos ver en la siguiente fotografía realizada con un depósito de capacidad 20 litros relleno de gasoil y sometido a un fuego intenso proveniente de una bandeja que contenía gasoil incendiado:



Ilustración. El depósito de 20 litros de gasoil es sometido a un fuego, que produce inicialmente un escape fuerte de gases antes de la nucleación espontánea.



Ilustración. Como podemos ver en la nucleación instantánea (el líquido pasa a ser gas instantáneamente) y al haber un punto de ignición (parte derecha) termina incendiándose todo el gas con el siguiente resultado de la fotografía.



Ilustración. El gas se va incendiando desde la derecha hacia la izquierda de la foto, siendo su duración de 1 segundo.

Debemos tener en cuenta que desde el inicio del fuego hasta su explosión transcurrieron 3 minutos y 21 segundos, tiempo muy pequeño para poder actuar de forma adecuada.

2. MEDIDAS PREVENTIVAS CONTRA EXPLOSIONES

Como hemos podido ver en las anteriores fotografías, todas las BLEVES siguen unas pautas:

1. Escape del combustible con motivo de un accidente
2. Este escape en contacto con un punto de ignición (chispa, fuego, etc.) se incendia calentando el depósito con el combustible
3. Si tiene válvula de seguridad esta se abre para liberar presión y combustible.
4. El calor a que es sometido el depósito aumenta la presión y disminuye la resistencia del material del depósito, haciendo que en la parte gaseosa, la presión produzca una rotura y por lo tanto una bajada repentina de presión. Esto con el líquido sobrecalentado genera la nucleación espontánea y la posterior combustión de todo el gas en el famoso hongo o bola de fuego.

Entre las medidas que propone la NTP 294 (norma técnica de prevención española) para incrementar la seguridad en los depósitos que contengan líquidos y gases inflamables están:

Limitar la sobrepresión excesiva mediante:

- Diseño adecuado de válvula de seguridad y discos de ruptura que nos permitan mantener la presión en una franja que impida la nucleación espontánea.
- Control riguroso del nivel de llenado de los depósitos, pues debe tener un margen para la dilatación de los líquidos.
- Capacidad de vaciado de los depósitos a otros depósitos.

Limitación de temperaturas excesivas

- Cubetas de retención que evacuen el líquido derramado por una rotura a otro contenedor seguro.
- Refrigeración por agua de los recipientes debiendo ser superior el caudal a 10 litros x metro x minuto
- Aislamiento térmico del depósito con: cementos especiales, lana de vidrio, pinturas intumescentes, etc.

Prevenir roturas en las paredes de los depósitos mediante la observación o interposición de barreras contra impactos.

Sistemas retardantes de la nucleación espontánea:

- Malla o esferas metálicas.
- Espuma de poliuretano
- Gel retardante de la nucleación.

La malla y esferas metálicas presentan frente a la espuma de poliuretano las siguientes ventajas:

- Mayor vida útil
- Mayor absorción del calor
- Mayor T^a de fusión, permitiendo soldar.
- Menor generación de residuos.

- Mayor facilidad de aplicación
- Menor capacidad de retención de 1,5 % frente al 15 % de la espuma.
- Elimina las cargas electrostáticas.

Y las ventajas frente al gel retardante son las siguientes:

- Menor costo
- Reduce la presión
- Mayor vida útil frente a un solo uso del gel.
- Mayor reducción del movimiento de líquidos, etc.

3. RED O ESFERAS METÁLICAS

Aunque su desarrollo y mejora se ha producido en estas últimas décadas, su efecto como apagallamas tienen su origen en la “lámpara de Davy” inventada por Sir Humphry Davy en 1816 para compensar los gases combustibles que se producían en las minas de carbón, gases explosivos al ser mezclados con el aire. Esta lámpara tenía la llama cubierta por una malla metálica a través de la cual no pasa la chispa ni la llama, al enfriarse a través de la malla los gases combustibles. Debido al limitado poder de disipación del calor junto con la baja resistencia mecánica reducía la fiabilidad de su adopción en el campo industrial. Aunque el apagallamas se ha construido de múltiples maneras, la más extendida y segura es aquella compuesta por láminas coarrugadas confinadas en láminas planas formando un cilindro o bloque con ciento de aberturas o también en formas esféricas para depósitos irregulares. Si se ocasionará alguna llama debido a un contacto con un punto de ignición, el gas se enfriaría por debajo del punto de ignición al pasar a través de los alvéolos hexagonales, pasando a través de éste con una reducida pérdida de carga.

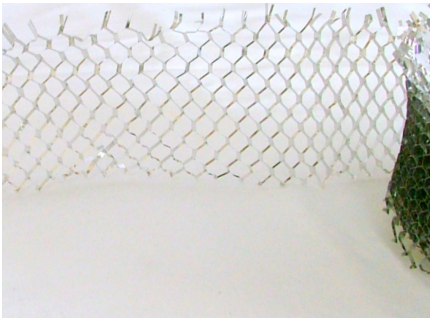
La necesidad de buscar un material más ligero, con mayor conductividad y adecuados componentes en la aleación, hizo que numerosos inventores (más de 30) desde 1937 hasta nuestros días, desarrollaran complicados sistemas de fabricación: malla, formas cilíndricas y formas esféricas.

En estas últimas décadas el mayor consumo de combustibles que deben ser contenidos en depósitos (debemos considerar que el consumo de petróleo al día está en 28 millones de barriles) ha generado un aumento del número de accidentes, con el correlativo aumento del número de muertos y accidentados al año, todo lo cual se ha traducido en una mayor búsqueda, investigación y análisis de diferentes materiales y procesos de fabricación.

Explostop SL de España en colaboración con EXCO S.R.L. Italia tienen una experiencia acumulada de más de 11 años en la utilización de este sistema preventivo contra explosiones.

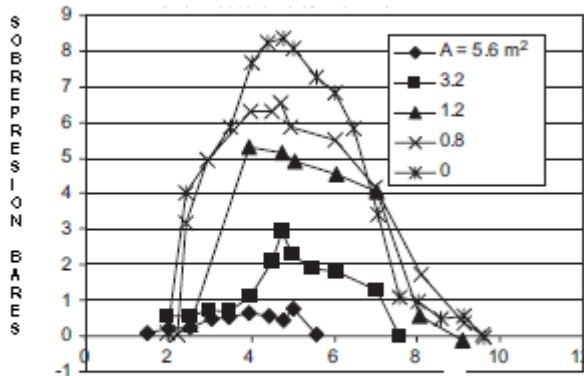
La nueva red por estas empresas diseñada cumple con las especificaciones del mayor organismo mundial en normativa preventiva, que sirven de referencia para los que elaboran los planes de seguridad industrial: NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. La norma que valora su eficacia corresponde a la NFPA 69 edición 2008.

Se ha patentado y desarrollado un proceso que mejora las características de red. Esta se origina, con la perforación de una aleación especial de aluminio que en su extensión produce una malla de aberturas hexagonales que al enrollarse forma el rollo cilíndrico. Un posterior proceso da lugar a las esferas o bolas que se utilizan para depósitos de forma irregular. Las diferentes formas se muestran en las siguientes imágenes:



La red o las esferas metálicas actúan de la siguiente forma:

- En caso de incendio, el calor recibido en la superficie del recipiente se distribuye por toda la masa del líquido y del gas, retrasando la aparición de fisuras en el depósito y por lo tanto retardando o anulando la tan temida nucleación espontánea.
- Al lograrse una mejor distribución del calor recibido la presión no aumentará tan rápidamente como cuando se calienta mayormente la fase gas, debido a que la energía cinética de los gases disminuye al interponerse la red en su movimiento hacia las paredes. Esta cualidad es muy importante, como puede verse reflejada en la siguiente gráfica.



**REALIZADO EN UNA ESFERA DE 20 LTS
 POR CIBA GEYGY (1994)**

**PORCENTAJE MEZCLA PROPANO / AIRE
 DIFERENTES SUPERFICIES DE MALLA
 DE 0 a 5,8 M2**

- Si en el recipiente hubiese entrado aire formándose concentraciones dentro del campo de inflamabilidad, la malla de las celdillas actuaría a modo de apagallamas por dispersión del calor generado
- Al ser brillante origina una reflexión de las radiaciones que pudieran producirse en una combustión localizada dentro del depósito, como sería el caso de un proyectil que atravesara dicho recipiente de combustible.

4. PROPIEDADES Y VENTAJAS DEL SISTEMA PREVENTIVO “EXPLOSTOP”

Explostop SL conjuntamente con Exco S.R.L. de Italia han patentado una nueva red y sus procesos de fabricación que permiten y facilitan un correcta aplicación.

A finales de mayo y principios de junio del presente año 2009 se realizaron diferentes pruebas en el Laboratorio Químico Central de Armamento (LQCA), dependiente del Ministerio de Defensa, situado en la localidad de La Marañosa, provincia de Madrid. Para cuantificar la temperatura se dispusieron 4 sensores en diferentes posiciones: arriba, abajo, derecha e izquierda, con estos datos se elaboraron graficas comparativas como podremos comprobar a continuación.

Dichas pruebas ponen de manifiesto las ventajas de utilización del sistema preventivo de Explostop, al aumentar la seguridad contra las explosiones en depósitos que contengan líquidos y gases inflamables.

4.1. PROPIEDADES DE LA NUEVA RED DE EXPLOSTOP

4.1.1. Menor porcentaje de volumen ocupado por unidad de volumen, llegando a ocupar solamente el 1,04 %

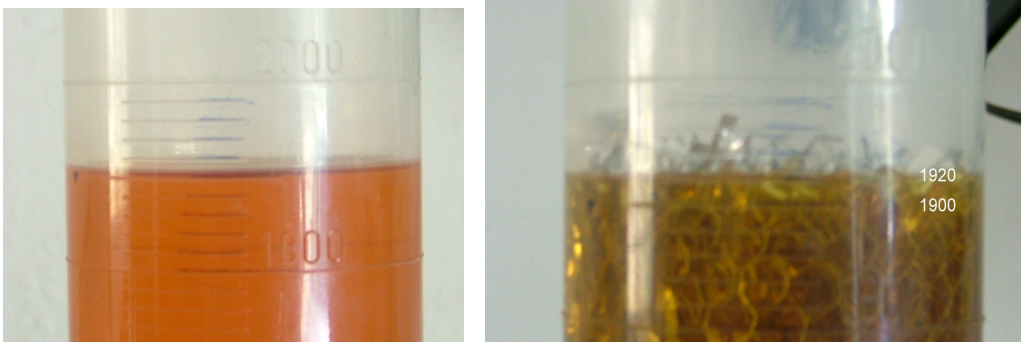


Ilustración. Si a 1900 ml le añadimos la nueva red, el volumen alcanzado es de 1920 ml.

4.1.2. Densidad

La densidad es de 30 grs/litro, ajustándose a los valores de la NFPA 69.

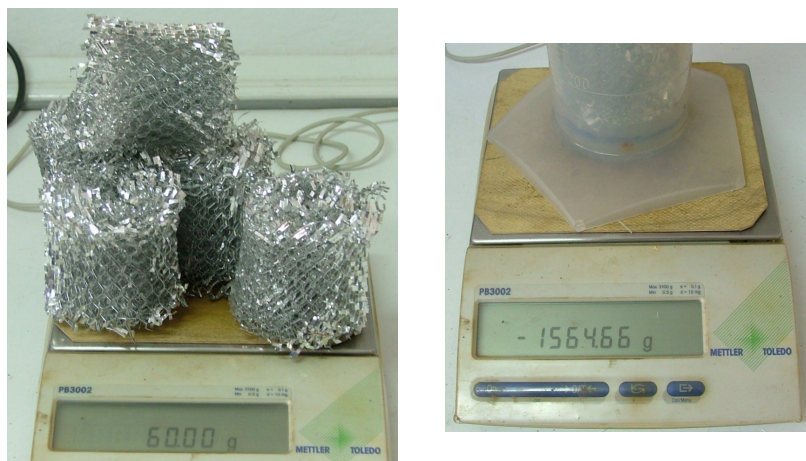


Ilustración. El producto utilizado en 2 litros tiene de peso 60 grs como puede verse en la balanza, dando como resultando 30 grs/litro.

4.1.3. Retención de líquidos

Esta propiedad es muy importante debido a que ese líquido retenido no es posible utilizarlo y supone un mayor coste en el transporte de depósitos móviles. El líquido supone el 1,44 %.

4.2. VENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DEL PRODUCTO DE EXPLOSTOP

4.2.1. Menor radiación térmica

El aspecto más grave de una explosión BLEVE es la radiación que emite al combustionarse en un instante toda la masa gaseosa, producto de la nucleación espontánea del líquido.

En pruebas realizadas con dos depósitos de capacidad 100 litros y rellenos con 40 litros de diésel y calentados con diésel, se puso de manifiesto lo siguiente en el transcurso de un mismo intervalo de tiempo :



Ilustración. Prueba sin Explostop. Foto de la 1ª prueba a los 9 minutos y 23 segundos.

POSICIÓN	Abajo	Arriba	Izada	Dcha
Tª	82,7	527,9	169,4	126,1



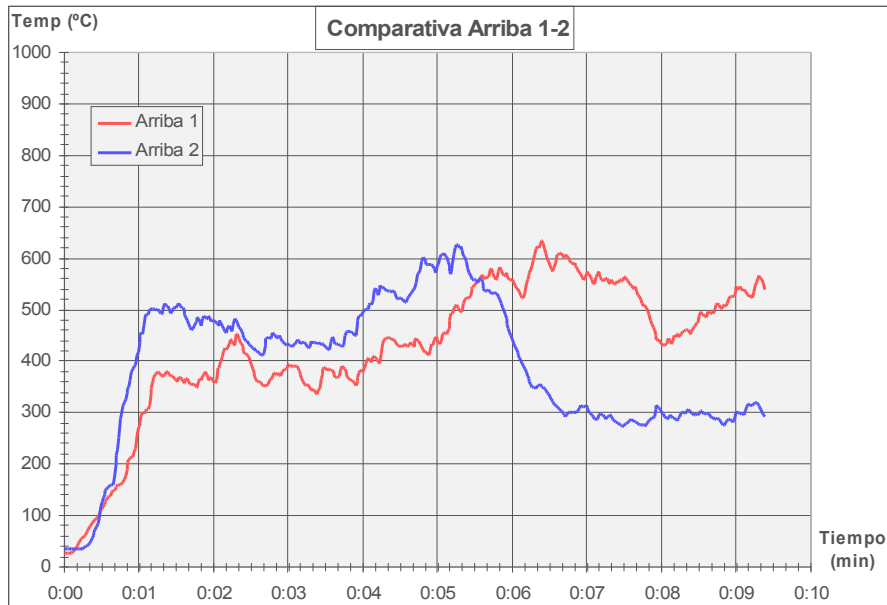
Ilustración. Prueba con Explostop. Foto de la 2ª prueba a los 9 minutos y 23 segundos, donde puede apreciarse que la extensión de la llama es mucho mayor en la primera que en la segunda, donde el depósito está protegido con Explostop.

POSICIÓN	Abajo	<u>Arriba</u>	Izada	Dcha
Tª	100,6	279,2	174,3	89,8

Como observamos en las gráficas del sensor de Tª situados arriba, justo en la llama, podemos cuantificar esa diferencia de temperatura de ambos depósitos: $527,9 - 279,2 = 248,7$ °C

4.2.2. Reducción de la temperatura con el paso del tiempo

La gráfica que a continuación se expone pone de manifiesto que a partir de un determinado intervalo de tiempo (5 minutos y 40 segundos) la Tª se va reduciendo en el depósito protegido como indica el sensor (azul) de arriba, frente al sensor del depósito sin proteger (rojo), que lejos de descender sigue aumentado, provocando por lo tanto una mayor apertura del depósito por fusión de sus paredes. Como puede verse en la siguiente gráfica se aprecia una diferencia de temperaturas en determinados puntos que alcanzan aproximadamente los 300 grados



4.2.3. Menores daños materiales

En el depósito sin proteger se produjo una explosión causando una mayor abertura, frente a los dos escapes de gases a presión que se produjeron con motivo de la fusión de dos puntos del depósito. Una menor abertura produce menor entrada de oxígeno y, por lo tanto, menor combustión, que hace que se alcancen menores temperaturas. Estas menores temperaturas dan como resultados menores daños en los depósitos como podemos observar en las siguientes fotografías: foto izquierda sin proteger y derecha protegido con Explostop.



4.2.4. Mayor seguridad para los medios de extinción

Una recomendación a los equipos humanos que acuden a la extinción de un depósito que se está incendiando es que extremen las medidas de seguridad ante una posible explosión BLEVE, alejándose lo más posible, refrigerando y esperando a que el combustible se consuma. Esto es precisamente lo que hicimos en las pruebas en La Marañosa.

La duración de la prueba sin protección fue de **32 minutos y 4 segundos**, frente a los **10 minutos y 23 segundos** de la segunda prueba protegida. El tiempo de extinción en la primera fue de **más de 42 segundos**, frente a **los 5 segundos invertidos** en la extinción del depósito protegido.



Ilustración con el depósito protegido, donde puede verse que la llama es mucho menor que con respecto al depósito sin proteger de la imagen de abajo. Además en el momento de la aplicación del agua, el fuego se aviva, al salpicar el combustible e incendiarse posteriormente, frente al protegido donde esto no ocurre por la interposición de la red.



Ilustración en la que la extinción del fuego mediante agua en los primeros instantes aviva el fuego.

Al reducir drásticamente el riesgo de explosión y su radiación térmica, aumenta la seguridad de las personas que intervienen en su extinción. Debemos resaltar esta ventaja debido a la importancia que supone la eficacia de los medios a utilizar. En grandes accidentes ocurridos en refinerías o grandes depósitos de almacenaje donde la explosión y posterior incendio adquiere grandes dimensiones y por lo tanto elevadas T^a cercanas a los 3000 grados, hacen que los equipos de extinción de la zona (bomberos, protección civil, etc) no sean capaces de llegar al fuego, debiendo solicitar potentes medios especiales normalmente, capaces de llegar con agua o espuma al fuego. El tiempo de retraso genera que los daños aumenten en el depósito y se extiendan a otros, haciendo que los efectos destructivos sean mayores y menor la eficacia de los medios de extinción.

4.2.5. Protección contra disparos o esquirlas de explosión

Los proyectiles o balas procedentes de atentados terroristas o de enemigos hostiles contra las fuerzas en misión de paz, pueden ocasionar la explosión de los depósitos en determinadas circunstancias. Para ello volvimos a repetir una prueba con un depósito de las mismas características que en la prueba anterior en cuanto al material y combustible utilizado. En el depósito sin proteger se produjo la explosión a los 4 minutos y 25 segundos, pudiendo apreciarse sus efectos en el momento de su extinción en la siguiente fotografía.



Ilustración. Depósito sin proteger, donde se aprecia la abertura provocada por la explosión

Volvimos a someter otro depósito protegido en las mismas circunstancias y esperamos a realizar un disparo que atravesara el depósito con un proyectil del calibre 7,62 sobrepasando el tiempo del ejemplo anterior en 25 segundos más (4 minutos y 50 segs). En comparación con el ejemplo anterior ya tenía que haber estallado, pero buscamos superar este tiempo para que se dieran unas condiciones donde el combustible estuviera a presión y sobrecalentado, para que una bajada súbita de presión originada por el orificio del proyectil, provocara la explosión. No solamente no se produjo la explosión en el momento de atravesar el proyectil en el depósito, sino que el incendio generado por el orificio de entrada y salida se extinguió, por su efecto de apagallamas.



Ilustración. Momento donde se aprecia la salida de gases por el orificio de salida.



Ilustración. Se aprecia la llama por el orificio de entrada del proyectil.



Ilustración. Fotografía donde puede apreciarse que la llama se ha extinguido en el orificio de entrada.

Además de una bala, el estallido de una bomba proxima puede proyectar esquirlas incandescentes que pueden perforar el depósito y originar su incendio y su posterior explosión.

En ocasiones los terroristas utilizan botellas de butano o propano para realizar sus atentados. Con la introducción del producto de Explostop en las mismas se evitarían estos hechos lamentables. Esta aplicación la detallaremos en el siguiente punto.

4.2.6. Protección de depósitos de gas

Habitualmente escuchamos que ha habido explosiones por el escape de gas de una botella por negligencia o intento de suicidio. Esto origina un incendio que incide sobre la botella que puede llegar a explosionarla, como han manifestado algunos bomberos que han verificado la rotura de la botella.

Cuando hay un incendio en una vivienda y los bomberos acuden, no saben exactamente si hay botellas o no de butano. Este hecho en algunos casos ha generado que en su intervención se

produzca la explosión de la botella, con lo cual acaba causando heridas graves o mortales.

El sistema preventivo introduciendo red o bolas aumenta la seguridad, pero además si se combina con otras medidas de seguridad como son válvulas de termofusión y sobrepresión la hacen totalmente segura. Esa medida ya se está comercializando con éxito en Italia, donde una bombona llamada “Margarita” y fabricada por Regalgas, está protegida con este producto.

En el LQCA se hizo la prueba con esta botella. Las imágenes que a continuación se muestran evidencian la eficacia de este sistema contra explosiones en depósitos que contengan gases licuados como propano y butano.



Ilustración. Inicio del fuego.

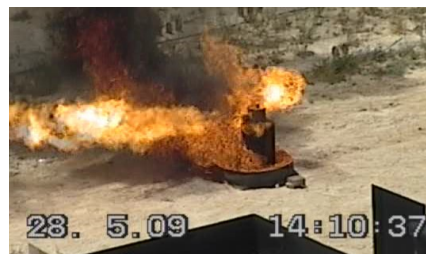


Ilustración. Se activan las válvulas de termofusión y sobrepresión.



Ilustración. Apagado de las llamas por una manta ignífuga, sin riesgo de explosión.

4.2.7. Reparación de daños en depósitos

En un accidente ocurrido el 4 de abril del 2008 en Aranjuez en una fábrica de productos farmacéuticos que la empresa Ercros tiene en dicha localidad, se apunta a que una chispa procedente de una soldadura hizo estallar un depósito con 30.000 litros de metanol, produciendo la muerte de un trabajador de 42 años y tres heridos graves.

En las pruebas que realizamos en el LQCA ponemos de manifiesto que los efectos tan graves en este tipo de accidentes pueden evitarse o reducirse a la mínima expresión.

No solamente habría podido evitarse la explosión, sino que con esta tecnología pueden repararse depósitos o tuberías que estén protegidos con este sistema. Para demostrarlo se realizó en el LQCA una perforación y su posterior soldadura en un depósito de 20 litros de capacidad y con 5 litros de combustible sin que se produjera su explosión. El depósito fue rellenado completamente con esferas y con 5 litros de gasolina, aplicándose la llama fundente a la parte gaseosa del depósito, que es donde más riesgo de explosión existe.

Los resultados como puede comprobarse en las siguientes fotografías, ponen en evidencia que este producto no solamente evita la explosión, sino que además permite la reparación de los depósitos con la consiguiente reducción de la contaminación ambiental.



Perforación



Orificio con gas incendiado



Soldar la salida



Orificio soldado

Esta medida pasiva nos permitirá según el tamaño del orificio o fisura reparar depósitos tanto estáticos como móviles, como pueden ser las cisternas de transporte de productos inflamables: gasolina, gasóleo, etc., con el consiguiente beneficio de seguridad para personas, bienes materiales y medioambiente.

4.2.8. Tránsito del producto inflamable sin riesgo

En muchas ocasiones cuando se produce la explosión y posterior incendio de parte del combustible, por temor a extender el fuego y a consecuencia más graves a otros depósitos, impide que se trasvase el líquido restante.

Esto suele ocurrir en accidentes en depósitos de almacenamiento, como refinerías, donde el accidente de un depósito provoca el efecto dominó en los depósitos adyacentes, produciendo el incendio y destrucción de los depósitos que se encuentran en el mismo campo.

La aplicación de nuestro nuevo producto en las pruebas realizadas en LQCA, no solamente evidencia la falta de explosión, sino que los efectos de llama son reducidos hasta su total extinción. Estas afirmaciones pueden verse en la siguiente prueba realizada.



Ilustración. Llenado con gasolina.



Ilustración. Incendio de la parte superior.



Ilustración. Momento del trasvase del combustible.

Como puede verse de arriba a abajo: el depósito protegido es rellenado con gasolina, que posteriormente se incendia por la parte de arriba y, posteriormente, se efectúa el trasvase del combustible líquido a otro depósito, donde la llama inicial va disminuyendo hasta extinguirse, al cambiar el sentido del gas y enrarecerse la mezcla de gas y oxígeno que la hacen incombustible.

Esto nos permitirá trasvasar combustible sin riesgo de explosión, recuperar combustible, menores vertidos contaminantes y menos daños materiales.

5. CONCLUSIÓN

Por todas las razones expuestas la adopción de este sistema contribuye de forma eficaz a aumentar considerablemente la seguridad de personas y bienes materiales, por lo que sería aconsejable que las autoridades competentes en los distintos ámbitos de seguridad industrial, laboral, medioambiental e, incluso, de defensa, tomen conciencia de ello e impulsen las medidas necesarias que favorezcan la aplicación y utilización generalizada de esta tecnología para el beneficio y desarrollo de todos.

Por último, quiero agradecer al LABORATORIO QUIMICO CENTRAL DE ARMAMENTO su inestimable contribución en esta tarea al permitir efectuar en sus instalaciones las primeras pruebas oficiales de verificación de este producto que se han realizado en España.



Autor:

© **Juan Carlos Mañero**
<http://www.explostop.com>
explostop@gmail.com
Diciembre, 2009

Publicado por IAEM-España
<http://www.iaem.es>