

J. A. Cabrera 4621	Tel (54)	(11) 4833 0020	<b>SistemasDACS S.A.</b>
Buenos Aires (C1414BGI)	Fax (54)	(11) 4833 0019	
Argentina	E-mail:	dacs@dacs.com.ar	

## SISTEMAS DE PROTECCIÓN SEGURA PARA PROCESOS PRODUCTIVOS DE ALTO RIESGO

ARTÍCULO "SN-042" (agosto 2004)

por Ing. **Roberto Fernández Blanco**  
FUNCTIONAL SAFETY EXPERT

### Introducción

Este artículo apunta a satisfacer inquietudes técnicas de quienes operan en plantas industriales peligrosas, listando y definiendo los más típicos fenómenos de riesgos y siniestros en plantas que procesan elementos combustibles.

En el mismo haremos frecuentes referencias a los Códigos, Estándares, Prácticas Recomendadas y Guías de ISA, IEC y los National Fire Codes (NFC) de la National Fire Protection Association (NFPA) de aplicación para este tipo de Procesos, tales como:

NFPA 58	Standard for the Storage and Handling of Liquefied Petroleum Gases (LPG).
NFPA 59	Std for the Storage and Handling of Liquefied Petroleum Gases at Utility Gas Plant.
NFPA 59A	Standard for the Production, Storage and Handling of Liquefied Natural Gas (LNG).
NFPA 69	Explosión Prevention Systems.
NFPA 70	National Electrical Code (NEC).
NFPA 72	National Fire Alarm Code.
NFPA	Fire Protection Handbook.
ISA S.84	Application of Safety Instrumented Systems for the Process Industries.
IEC 61508	Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic Safety Related Systems.

### Conceptos Básicos

Los LPG (Gases Licuados de Petróleo, principalmente Propano y Butano) son productos de Hidrocarburos que se encuentran en estado gaseoso a temperaturas de alrededor de los 20° C y a presión atmosférica, que son fáciles de licuar bajo presión moderada y que vuelven rápidamente a su fase gaseosa en cuanto se los despresuriza.

Esta propiedad permite su Almacenaje (Storage) y Transporte en forma líquida para su posterior consumo en forma de gas.

El riesgo de inflamación de estos productos es comparable al de Gas Natural pero con la particularidad que los LPG son más pesados que el aire.

Las propiedades físicas más importantes de los LPG Butano y Propano son:

	Densidad del Vapor vs. Aire	Boiling Point Pto. De Ebullición	Presión de Vapor		Flammable Limits	
	@ 15° C / 1 bar	@ 1 bar	@ 20° C	@ 50° C	Lower LFL % V/V	Upper UFL % V/V
<b>Butano</b>	2,01	-9° C	2,5 bar	7 bar	1,55	8,6
<b>Propano</b>	1,5	-42° C	9 bar	19 bar	2,15	9,6

Tanto el Propano como el Butano, a presión atmosférica y a temperaturas inferiores a su punto de ebullición, están, obviamente, en estado líquido. A temperaturas superiores pasan rápidamente al estado gaseoso.

J. A. Cabrera 4621	Tel (54)	(11) 4833 0020	<b>SistemasDACs S.A.</b>
Buenos Aires (C1414BGI)	Fax (54)	(11) 4833 0019	
Argentina	E-mail:	dacs@dacs.com.ar	

Es importante reiterar que ambos gases son más pesados que el aire, por lo que las nubes de vapor de Butano y Propano “caen” (“bajan”) al nivel del suelo y se mueven (desparraman) a ras del piso o terreno.

Con respecto al Gas Natural, en el cual sus componentes principales son Metano y Etano para el tipo seco, y Metano, Etano, Butano, Pentano, Hexano, Heptano y otros para el tipo húmedo, su temperatura crítica es de  $-74^{\circ}\text{C}$  y debe ser licuado mediante tratamiento criogénico, obteniéndose así el LNG (Liquified Natural Gas).

Por su parte, el Gas de Refinería está compuesto por Propano, Butano, Propileno y Butileno.

Los LPG (Liquified Petroleum Gases) a los que hacemos especial referencia en este artículo, se almacenan en estado líquido en tanques esféricos y en tanques cilíndricos horizontales (“conocidos como “cigarros” ó “ habanos”).

Estas Áreas o Plantas de Almacenaje están expuestas al riesgo de fugas accidentales (que derivan rápidamente a su fase de vapor o gas) que pueden dar lugar a fuego y/o explosión.

De aquí la necesidad de diseñar la Planta con un profundo y detallado estudio HAZOP- HAZAN (Hazard Operability and Hazard Analysis) para aumentar al máximo su Seguridad Inherente o Intrínseca (reduciendo las posibilidades de pérdidas o fugas de gas y las posibles fuentes y riesgos de ignición), completándola con un adecuado Sistema Instrumentado de Seguridad (SIS, Safety Instrumented System o PESS, Programmable Electronic Safety System) tanto para detectar pérdidas de gas y sus niveles de concentración (Gas en Aire) para prevenir riesgos de explosión, como para detectar presencia de fuego (Fire) y poder así combatirlo rápidamente protegiendo la Planta contra incendio (y posteriores consecuencias).

De aquí el título de este artículo, “Fire Protection and Gas Explosion Prevention”.

## Definiciones

### Hazard (Peligro)

Situación que puede dar lugar a Siniestros (roturas, incendios, explosiones y/o contaminación tóxica), con daños a Personas, a la Comunidad, al Medio Ambiente, a los Bienes de Producción y a la Capacidad Productiva de la Planta, derivando en pérdidas económicas y en conflictos legales por reparaciones e indemnizaciones a terceros.

### Risk (Riesgo)

Es la “Probabilidad Global” de que un determinado peligro (Hazard) se transforme o derive en siniestro.

Esta Probabilidad Global se evalúa dentro de un determinado período y/o marco de circunstancias.

La categorización del Nivel de Riesgo se basa en un análisis de “frecuencia o probabilidad” (probabilidad medida como la cantidad posible de veces - ó frecuencia- que una situación de riesgo se produzca en un determinado período de tiempo, por ejemplo, una frecuencia de 1 en 1000 por año), en combinación con un análisis de “Consecuencias o Severidad” al que dicha situación puede dar lugar (medida en magnitud de daños a personas y bienes).

### SIL (Safety Integrity Level)

La evaluación y determinación del Grado Total de Riesgo resulta de la particular combinación de los niveles de “Probabilidad de Riesgo” (niveles de 1 a 5, de improbable -pero no imposible- a bastante probable o frecuente), con los niveles de “Severidad o Consecuencias del Riesgo” (niveles de I a IV, de despreciable a catastrófico).

De este análisis combinado resulta una categorización del Nivel de Riesgo Total expresable en un rango SIL (Safety Integrity Level) [definido por ISA (Instrument Society of América), por IEC

J. A. Cabrera 4621	Tel (54)	(11) 4833 0020	<b>SistemasDACS S.A.</b>
Buenos Aires (C1414BGI)	Fax (54)	(11) 4833 0019	
Argentina	E-mail:	dacs@dacs.com.ar	

(Internacional Electrotechnical Commission) y por AICHE (American Institute of Chemical Engineers)], que va de rango " 1" a rango "4" (SIL 1, SIL 2, SIL 3 y SIL 4 )

NIVEL DE RIESGO (RISK LEVEL)	SAFETY INTEGRITY LEVEL(SIL)	AVAILABILITY (DISPONIBILIDAD) REQUERIDA DE SEGURIDAD	PROBABILIDAD DE FALLA ANTE UNA SEÑAL DE DEMANDA POR DETECCION DE PELIGRO (PFD)	FACTOR DE REDUCCION DE RIESGO (RISK REDUCTION)
Nota (*)	4	> 99,99 %	<0,0001	> 10.000
Alto	3	99,9 a 99,99 %	0,001 a 0,0001	1000 a 10.000
Medio	2	99 a 99,9 %	0,01 a 0,001	100 a 1000
Bajo	1	90 a 99 %	0,1 a 0,01	10 a 100

(Nota\*) El SIL 4 es esencialmente usado para Industrias Nucleares y Aeroespaciales.

Esta categorización SIL que identifica el nivel de riesgo del proceso es el que define e impone el Nivel de Requerimiento -en términos de Seguridad (Failsafe), Confiabilidad (Reliability and Dependability) y Continuidad Operativa (Availability, Fault Tolerance)- del Sistema Instrumentado de Seguridad SIS (o PESS, Programmable Electronic Safety System), incluyendo todos los elementos de campo que componen el sistema.

"No se acepta que una planta con Areas Peligrosas (Hazardous Areas) no esté protegida con un sistema de seguridad SIS apropiado (y además aprobado por TUV o FMRC) para el nivel específico SIL que corresponde a dicho proceso"

(Ver artículo SS106 – Sistemas de Protección del mismo autor)

SIS (Safety Instrumented Systems)

Se considera Sistema de Seguridad a toda la Cadena de Seguridad integrada por todos los elementos (eslabones) que la componen, esto es, desde los Sensores de Campo de las Variables de Riesgo (por un extremo) hasta los Actuadores o Elementos Finales de Protección por el otro extremo, pasando por la Unidad Central, Módulos de entradas y salidas, componentes intermedios, Cableado, Comunicaciones y Software.

Puesto que una cadena es tan fuerte o segura como su eslabón más débil, el SIL definido en el punto anterior impone los requerimientos mínimos exigidos a cada uno de los eslabones de la totalidad del Sistema.

El Sistema de Seguridad puede ser de Carácter Preventivo, Correctivo o ambos.

J. A. Cabrera 4621	Tel (54)	(11) 4833 0020	<b>SistemasDACS S.A.</b>
Buenos Aires (C1414BGI)	Fax (54)	(11) 4833 0019	
Argentina	E-mail:	dacs@dacs.com.ar	

#### Sistema de Seguridad de Carácter Preventivo

Contempla desde Monitoreo, Detección y Alarmas, hasta incluir accionamientos por medio de Interlocking Systems, Emergency Shutdown Systems, etc., para prevenir situaciones de riesgo, llevando la Planta o el Proceso a Condición Operativa Segura mediante acciones de protección por sectores hasta su detención o parada total, mas otras posibles acciones preventivas opcionales.

#### Sistema de Seguridad de Carácter Correctivo

Una vez desencadenado el Siniestro, el Sistema actúa para contener, reducir, atemperar, mitigar y/o extinguir los efectos del mismo antes de que éste se propague generando nuevas situaciones de riesgo o provocando daños mayores.

#### Integración del SIS (Safety Instrumented Systems)

La necesidad de obtener una confiable Garantía de Seguridad y de Integridad del Sistema a ser adquirido, obliga a los Usuarios a tomar determinadas precauciones.

Como síntesis de tales cuidados reproducimos a continuación el capítulo "Introducción" del artículo "Conceptos y Definiciones en Sistemas de Seguridad, 1993", del mismo Autor.

#### **Conceptos y Definiciones en Sistemas de Seguridad**

La importancia de definir con precisión el alcance y objetivos de un Sistema de Seguridad (o de protección de procesos) para prevenir daños a personas y bienes, hace imprescindible un conocimiento amplio de los conceptos de seguridad y de las formas o requerimientos necesarios para implementar dichos sistemas con un equilibrio técnico-económico adecuado al proceso a proteger y en concordancia con el nivel SIL que define al mismo.

Por no ser ni su función ni su propósito, un Usuario nunca llegará a ser un experto en Sistemas de Seguridad con capacidad suficiente como para poder evaluar plenamente la Calidad y Confiabilidad de un específico Sistema de Protección.

Como consecuencia surge la inevitable pregunta:

¿Cómo puede un Usuario "estar seguro" de que el Sistema de Seguridad que está comprando "es realmente seguro"?

¿Cómo evitar que adquiera y conviva con un Sistema Inherentemente Inseguro, ignorante del riesgo al que queda expuesto?

En los modernos sistemas a microprocesadores se suele -errónea e imprudentemente- focalizar el análisis en las prestaciones operativas de los componentes dejándose de lado los riesgos inherentes a las posibles fallas, ya que, pese a tratarse de equipamientos confiables, frente a una falla interna en un Sistema de Seguridad "Simple" (esto es basado en un equipo PLC programable standard) la probabilidad de que el sistema caiga hacia condición segura es igual a la probabilidad de que caiga hacia condición insegura (50% vs. 50%).

J. A. Cabrera 4621	Tel (54)	(11) 4833 0020	<b>SistemasDACs S.A.</b>
Buenos Aires (C1414BGI)	Fax (54)	(11) 4833 0019	
Argentina	E-mail:	dacs@dacs.com.ar	

De aquí que el uso de equipos programables standards no estén permitidos (en realidad están prohibidos) para sistemas de seguridad, recomendándose además un especial cuidado en la elección de la empresa a la que el usuario confiará el Diseño y la Integración.

Esta recomendación básica y esencial mencionada por La NFPA (National Fire Protection Association) dice:

Foreword: "Los avances tecnológicos de los últimos años, y en particular el uso cada vez más intensivo y extendido de equipamientos basados en microprocesadores, hace cada vez más importante el que únicamente personas muy altamente calificadas sean los participantes en la aplicación de estas "recomendaciones" en el uso de sistemas de operación y protección de procesos peligrosos.

Cada tipo de equipamiento (hardware) tiene sus propias y únicas características técnicas y modos de operación. Es en consecuencia vital que el diseñador del sistema de seguridad esté:

- a) Totalmente familiarizado con las características y capacidades del específico hardware a utilizar, pero muy particularmente, que esté profundamente familiarizado con las debilidades (flaquezas) de dicho hardware.,
- b) Que acredite una gran experiencia en la configuración de sistemas Failsafe y Fault Tolerants (en Hardware y Software) para este tipo de aplicaciones de alta seguridad,
- c) Que tenga un gran conocimiento HAZOP (Hazard and Operability) del proceso a proteger, y
- d) Que tenga un amplio conocimiento y comprensión del contenido, propósito y aplicación de estas normas". (NFPA).

La empresa que ha recibido de la Sociedad (a través del Estado) la autorización y el privilegio de poder instalar una planta con procesos de riesgo queda automáticamente obligada y legalmente comprometida ante la Comunidad a asumir la total responsabilidad por prevenir y evitar situaciones que puedan provocar daños sobre las personas y sobre los bienes de la Comunidad y a hacerse cargo de las consecuencias del siniestro a que haya dado lugar.

Detrás de estas prioridades está además el propio interés de la empresa por proteger a su personal, sus equipos, sus instalaciones y la continuidad del proceso productivo.

Pasa a ser entonces una ineludible y prioritaria responsabilidad del cuerpo directivo y de la gerencia técnica de dicha empresa el asumir plenamente la obligación de garantizar la seguridad de la planta, decidiendo cuidadosamente los niveles de protección que requiere el proceso (nivel SIL) y los medios, equipos y proveedores con los cuales instrumentará la debida protección y control de la misma, los cuales deberán contar con los respectivos sellos (garantías) de aprobación para su específica aplicación en la protección de dicho específico proceso y para el específico nivel SIL requerido, y permitir, además, el acceso - garantizado por escrito ó por TUV ó FMRC- a los componentes de campo, para su mantenimiento y/o reparación, con el proceso ó planta en operación y sin riesgo de generar un punto de ignición que dé lugar a una condición explosiva.

### **Explosión y Fuego**

Estos son los dos más importantes y casi exclusivos peligros presentes en una Planta de LPG.

Hay, obviamente, otros peligros potenciales pero de muy escasa probabilidad (bajo riesgo), tal como el que pudiera ceder una pata soporte de un tanque esférico, lo que, en caso de suceder, trasladaría

J. A. Cabrera 4621	Tel (54)	(11) 4833 0020	<b>SistemasDACS S.A.</b>
Buenos Aires (C1414BGI)	Fax (54)	(11) 4833 0019	
Argentina	E-mail:	dacs@dacs.com.ar	

la principal fuente de riesgo a la probable posterior rotura de la esfera, la consecuente pérdida de producto y un posible riesgo de explosión con sus obvios resultados catastróficos. Las denominaciones “Explosión y Fuego” son muy generales y amplias, por lo que justifican una más minuciosa y precisa diferenciación. Veamos.

### **Explosión**

Es una rápida descarga o liberación de energía que produce una discontinuidad de presión, ráfaga, frente o pulso de presión (Blast Wave). Los ejemplos mas simples y cotidianos son el reventón del globo de un niño o el de un neumático.

**Blast Wave**

Pulso de presión en forma de onda de choque producida por una explosión.

**Shock Wave**

Es también un pulso de presión en forma de onda de choque producida por una explosión, pero cuya característica es que la discontinuidad de la presión es muy aguda y está producida por la onda de choque viajando a través del medio fluido a una velocidad superior a la del sonido.

**Misiles**

Partículas, fragmentos, pedazos o la totalidad del conjunto, expulsados y proyectados por la liberación de la energía producida por una explosión.

### **Explosión Física**

Es la ruptura mecánica del contenedor provocada por un aumento excesivo de la presión del fluido que hace ceder el recipiente que alberga el fluido (gases en particular) y produce su repentina liberación a la atmósfera.

Este tipo de explosión es la que genera la ráfaga u onda de presión “Blast Wave”, la que inicialmente viaja hacia afuera del compartimento a una velocidad comparable a la de la expansión de los gases. Esta onda de choque (Blast Wave) comienza con una fase de presión positiva, seguida de una fase de presión negativa. Cuando la discontinuidad del pulso de presión es muy aguda se la identifica como onda de Shock (Shock Wave).

Los mayores daños de una explosión de este tipo son provocados por los “misiles” liberados en el reventón y proyectados hacia afuera del foco explosivo con alto contenido de energía cinética, pudiendo viajar distancias importantes e impactar con gran poder destructivo.

La onda de choque (Blast Wave) puede también lanzar a las personas contra objetos, dañar sus tímpanos, sus pulmones y/u otras partes del cuerpo humano afectadas por el golpe o choque de la onda.

**Estallido Mecánico o Reventón (Pressure Burst)**

Es el efecto de rotura mecánica del habitáculo o receptáculo de un producto por efecto de una sobrepresión interna, provocando la ráfaga Blast Wave y Misiles.

### **Explosión Química**

Es aquella en la que la explosión es producto de una reacción química.

Se la categoriza en dos subtipos: Deflagración y Detonación.

### **Deflagración**

Es aquella en la que la reacción química avanza dentro del material “no reaccionado” a una velocidad menor que la del sonido. (Inferior a 340 m/seg)

En una deflagración rápida de una mezcla de vapor inflamable y aire, el frente de llama (Fuego) usualmente viaja a una velocidad de 30 m/seg hasta varios cientos de m/seg.

J. A. Cabrera 4621	Tel (54)	(11) 4833 0020	<b>SistemasDACS S.A.</b>
Buenos Aires (C1414BGI)	Fax (54)	(11) 4833 0019	
Argentina	E-mail:	dacs@dacs.com.ar	

Una deflagración puede tener diferentes grados de violencia, desde casos de “ráfagas” de efecto mínimo o despreciable (Flash Fire, por ejemplo, ver definición en “Tipos de Fuego”) hasta casos de fuerte poder destructivo. (deflagración explosiva).

### **Detonación**

Es la explosión resultante de una reacción química extremadamente rápida en la que el frente de la misma avanza dentro del material “no reaccionado” a una velocidad superior a la del sonido. (superior a 340 m/seg)

### **Explosión Confinada o Recluida**

Es la explosión de una mezcla de vapor inflamable y aire (o combustible y oxidante) dentro de un volumen cerrado del tipo recipiente, tanque o habitación.

### **VCE, Explosión No Confinada**

Una explosión VCE (Vapour Cloud Explosion) es aquella en la que la reacción química de una nube de vapor inflamable con el aire comburente se desencadena al aire libre.

Se considera que generalmente hay factores que ayudan a la formación y concentración de dicha nube de vapor inflamable, tales como deformaciones del terreno, vientos leves, temperaturas adecuadas, árboles, estructuras, etc., que crean una especie de confinamiento natural (nube) al aire libre que le genera esa mínima presión propia que la prepara para la condición de explosividad.

### **Bleve (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion)**

Este tipo de explosión es de enorme poder destructivo pero en verdad engloba a una sucesión de efectos explosivos.

Se lo usa para describir el siniestro que se produce en tanques o esferas de Gas Licuado (LPG y LNG) cuando, por efecto de algún tipo de fuego externo, el gas licuado almacenado se va calentando aumentando la presión interna hasta provocar el estallido mecánico o reventón (Pressure Burst) del tanque contenedor.

Este estallido, sumado a la rápida evaporación del gas líquido liberado (debida a la expansión y abrupta caída de presión resultante de la liberación) produce una poderosa onda de choque (Blast Wave) con muy dañinos efectos mecánicos.

Pero inmediatamente después de esta liberación, de encontrar un foco de ignición, se produce la ignición de la mezcla del gas expandido con el aire ambiente, dando lugar a una intensa combustión que crea una Bola de Fuego (Fireball) que se eleva rápidamente por su gran flotabilidad.

En realidad, la mejor forma de definir el BLEVE es referirse a la sucesión de sus efectos:

- Vaporización dentro del tanque por ebullición del líquido (Boiling Liquid) inducida por una fuente (fuego) de calor externo,
- Aumento de la presurización en el tanque,
- Reventón o estallido mecánico en el tanque (Pressure Burst), esto es, Explosión física, Blast Wave y Misiles.
- Onda de presión provocada por el escape del producto tras el reventón y por la consecuente expansión del producto al aire libre (Evaporación Brusca, Flashing).
- Posible y probable inflamación instantánea (explosión química) de la nube de vapor (Vapor Cloud Explosión)
- La veloz combustión provoca el efecto de flotación de la masa inflamada la que se eleva en el aire formando una nube o bola de fuego. (Fire Ball)

J. A. Cabrera 4621	Tel (54)	(11) 4833 0020	<b>SistemasDACs S.A.</b>
Buenos Aires (C1414BGI)	Fax (54)	(11) 4833 0019	
Argentina	E-mail:	dacs@dacs.com.ar	

Los efectos destructivos del BLEVE incluyen los daños provocados por los misiles desprendidos durante el reventón (Pressure Burst), los daños producidos por la onda u ondas superpuestas de descarga y expansión del producto (Blast Wave, Flashing), los efectos de la fuerte radiación térmica, producto de las elevadas temperaturas de la gran masa en combustión (Vapor Cloud Inflammation/Explosion), los efectos de asfixia por la falta de oxígeno, dado el fuerte consumo localizado de aire por parte de la combustión (Oxygen Depletion), y el efecto físico de vientos muy fuertes (Fire Storm), casi huracanados, que son provocados por el vacío (succión por depresión) creados por dicho consumo de aire y por el arrastre resultante de la rápida elevación de la ascendente bola de fuego (Fire Ball).

### **Rapid Phase Transition (RPT)**

Se trata de un rapidísimo (violento) cambio de estado (o de fase) de una sustancia (de fase líquida a vapor) acompañado de una veloz expansión volumétrica de la fase de vapor, que da lugar a una fuerte onda de choque (Blast Wave próxima a Shock Wave) con un pulso de presión que genera una ráfaga con fuertes resoplidos de descarga de vapor hacia el exterior del medio contenedor a través de los espacios abiertos y que puede llegar a provocar la destrucción por presurización (Pressure Burst) del contenedor, con la consecuente proyección de fragmentos (misiles) a gran velocidad. Tal es el caso de la evaporación "instantánea" de una masa de agua en contacto con una fuente de alta temperatura con alto contenido calórico como lo es por ejemplo un gran volumen de metal derretido y en estado líquido viscoso.

Esta situación es propia de tres o cuatro diferentes procesos.

Uno de ellos se da en la industria de fundición de metales en la que se utiliza el agua como refrigerante a través de revestimientos aisladores adecuados que permiten la acción indirecta de enfriamiento. Una fisura en el revestimiento aislador que permitiera la entrada de agua sobre la masa de hierro fundido provocaría una inmediata vaporización que se eyectaría al exterior con arrastre de partículas de metal muy caliente (en estado viscoso).

El segundo caso, muy temido en Plantas de Pulpa y Papel, se da en las Calderas de Recuperación de Carbonato de Sodio, en las cuales se genera vapor de agua (como en cualquier caldera convencional) mediante la combustión de un subproducto del proceso de pulpa (el Licor Negro o Black Liquor) que deja como residuo recuperable en el piso o fondo del hogar de la caldera, un lecho de carbonato de sodio derretido (en estado de fundición) que escurre lentamente fuera de la caldera para su posterior reutilización.

Al producirse una pérdida de agua en los caños internos del hogar de la caldera, el contacto del agua que cae sobre el lecho de carbonato de sodio derretido produce una instantánea vaporización de la misma.

Si dicha pérdida de agua se corresponde con un gran caudal a causa de una rotura importante de algún caño, la consecuencia inmediata es una explosión del tipo RPT en la que la violenta vaporización genera un brusco pulso de presión en el interior del hogar que busca descargarse por todos los orificios y mirillas de la caldera y que pueda llegar a provocar el estallido mecánico de las paredes de la misma (reventón del hogar), con desprendimiento de misiles y una rápida expansión del vapor generado que sale arrastrando polvo de sales calientes de sodio de los depósitos semiincrustados en los tubos de agua.

Además del efecto destructivo de los misiles, el vapor expulsado golpea, quema, asfixia y – a aquellos que en la desesperación por respirar aspiran vapor- produce destrucción pulmonar por el vacío que el vapor de agua provoca en los pulmones al enfriarse y condensarse.

Un tercer caso de RPT se da en plantas de almacenamiento de aceite y/o petróleo.

J. A. Cabrera 4621	Tel (54)	(11) 4833 0020	<b>SistemasDACS S.A.</b>
Buenos Aires (C1414BGI)	Fax (54)	(11) 4833 0019	
Argentina	E-mail:	dacs@dacs.com.ar	

En el caso de un incendio en un tanque de petróleo, el riesgo mayor se presenta con la capa inferior de agua que yace en el tanque debajo del petróleo. Si la temperatura del petróleo sube por encima de los 100 °C y alcanza el agua de dicha capa, esta empieza a vaporizarse y el vapor se abre paso a borbotones hacia el exterior expulsando petróleo ardiendo a grandes distancias, avivando el fuego del tanque (al mejorar la mezcla petróleo con aire) y multiplicando severamente el nivel del siniestro en dicho tanque con el grave riesgo de ir extendiendo el siniestro a tanques, edificios u otras partes vecinas al mismo.

### **Fuego**

Cuando un material entra en combustión, arde, generalmente con llama (fuego), emitiendo y transfiriendo calor por radiación, conducción y convección.

La primera de ellas (Radiación) puede causar serios daños a las personas y objetos, dependiendo de la energía térmica emitida, la que depende a su vez del tipo y magnitud del fuego.

En grandes fuegos en espacios abiertos, el principal factor de riesgo para las personas es precisamente dicho nivel de radiación térmica.

Humo y gases de combustión son factores de riesgo que se suman en ambientes cerrados tales como oficinas, negocios, laboratorios, depósitos, etc.

También el fuego pone en riesgo la resistencia de las estructuras, las que al quedar encerradas entre las llamas, sufren por radiación, convección y también por conducción, además de estar expuestas a otros efectos físicos y químicos por su contacto directo con el fuego y con los productos de la combustión.

### **Pool Fire**

Se trata de un charco de combustible derramado (en el piso, en alguna pileta, quizá flotando en agua, o en un contenedor) que tiene cierto grado de vaporización de productos inflamables.

Una vez iniciado el fuego, el incremento de calor provocado por la radiación de la llama incrementa el nivel de vaporización del producto inflamable en su película externa, vapor que al mezclarse con el aire que ingresa al medio por efecto de la aspiración (tiraje) provocada por la remoción de aire propia del fuego existente, sostiene e incrementa el nivel de fuego hasta un punto de equilibrio (máxima velocidad de combustión) de dicho combustible derramado, que es función del calor neto de combustión y del calor requerido para su evaporación.

### **Jet Flame (Fuego en Chorro)**

Este tipo de combustión se presenta cuando se produce una pinchadura, rajadura o pequeña rotura en un caño o tanque con combustible líquido a presión, provocando una expulsión del líquido hacia afuera en forma de chorro o surtidor libre, que luego se enciende y se sostiene con la reposición continua del combustible proveniente del interior (similar al fuego de un quemador de calderas).

### **Flash Fire**

Es el equivalente del Jet Flame, pero provocado por una pérdida de vapor combustible (en vez de líquido) en un tanque o cañería a presión. La nube ejectada de vapor combustible se enciende al mezclarse con el aire y encontrar un punto o fuente de ignición.

El Frente de Llama (Flame Front) se mueve (viaja) a través de la nube de vapor como un relámpago de baja velocidad (inferior a la del sonido), combustionando aquéllos canales (o rastros) dentro de la nube cuya mezcla de vapor-aire está dentro de los límites de flamabilidad, esto es, por encima de la relación que representa el mínimo valor capaz de entrar en combustión (LFL o Lower Flammable Limit) y/o por debajo de la relación que constituye el máximo valor capaz de entrar en combustión (UFL o Upper Flammable Level).

J. A. Cabrera 4621	Tel (54)	(11) 4833 0020	<b>SistemasDACS S.A.</b>
Buenos Aires (C1414BGI)	Fax (54)	(11) 4833 0019	
Argentina	E-mail:	dacs@dacs.com.ar	

Las porciones de la nube con concentraciones superiores al UFL (mucho combustible con poco aire), no se queman hasta que las corrientes de aire inducidas por el fuego alcanzan a aumentar el contenido de oxígeno de la mezcla bajando la relación por debajo del UFL.

Luego la llama se extiende en la forma de un penacho de plumas sobre la nube y se termina consumiendo, moviendo la llama hacia la boca de escape del gas hasta reducirse al tamaño de la llama de un mechero, cuya magnitud dependerá del tamaño de esta boca de escape, de la presión interna del gas dentro de la cañería o recipiente y del tipo de gas combustible.

Si bien el Fuego Relámpago (Flash Fire) es transitorio hasta reducirse a una antorcha, produce daños por radiación térmica y por disminución de oxígeno en la atmósfera circundante.

En el caso de fuegos muy importantes la corriente inicial del aire consumido en el momento de la inflamación (Inrush of Air) puede alcanzar niveles de huracán, fenómeno conocido como Tormenta de Fuego (Fire Storm).

Como elemento comparativo cabe señalar que un Flash Fire es de ignición lenta, con demora, donde la velocidad típica de propagación de la llama es de 4 m/seg, en tanto que una Fireball es de ignición Inmediata.

### **Flash Point (Punto de Vaporización)**

Se denomina así al valor específico de temperatura con la cual un líquido inflamable alcanza un Nivel de Vaporización cuya concentración de vapor en el aire inmediatamente por encima de la superficie del líquido combustible, alcanza el nivel o límite inferior de flamabilidad (LFL, LEL).

### **Límites de Flamabilidad (o Explosividad)**

Para que un gas o vapor inflamable entre en combustión, su concentración en el aire necesita estar dentro de sus respectivos límites de flamabilidad (entre LFL y UFL).

Por debajo de una determinada concentración (LFL), la presencia del vapor combustible en el aire no es suficiente para que entre en combustión.

Por encima de otra determinada concentración (UFL), la presencia de vapor combustible en el aire es grande en relación con el oxígeno disponible tal que este le resulta escaso como para que pueda entrar en combustión.

Estos son los valores conocidos como LFL (o LEL) y UFL (o UEL) a los que nos referiremos a continuación.

### **Lower Flammable Level (LFL) o Lower Explosive Level (LEL)**

Es la concentración (en % Vol/Vol) de vapor combustible en aire debajo de la cual la combustión no puede propagarse por tratarse de una mezcla pobre en combustible.

### **Upper Flammable Level (UFL) o Upper Explosive Level (UEL)**

Es la concentración (en % Vol/Vol) de vapor combustible en aire por encima de la cual la combustión de la mezcla no puede propagarse por escasez del aire que requiere para desencadenarse y extenderse.

### **Fuentes o Focos de Ignición**

Hace falta el complemento de una determinada cantidad mínima de energía térmica (en microjoules) para provocar la ignición.

El origen de esta fuente mínima de calor puede provenir de:

- a) Una llama con suficiente capacidad térmica para provocar la ignición de ese vapor o gas en ese particular estado de temperatura y mezcla con aire.
- b) Calor suficiente generado por fricción.

J. A. Cabrera 4621	Tel (54)	(11) 4833 0020	<b>SistemasDACS S.A.</b>
Buenos Aires (C1414BGI)	Fax (54)	(11) 4833 0019	
Argentina	E-mail:	dacs@dacs.com.ar	

- c) Calor suficiente generado por chispas.
- d) Calor suficiente de motores de Proceso o de vehículos.
- e) Calor suficiente de equipos eléctricos, cables, baterías, etc.
- f) Calor suficiente de cañerías, etc., del Proceso.
- g) Descargas electrostáticas (chispas grandes).
- h) Cigarrillos o fósforos no extinguidos (no enfriados).
- i) Energía solar concentrada por lentes de anteojos o superficies concentradoras.
- j) Calor de reacciones exotérmicas.
- k) Cualquier otra fuente de calor suficiente.

### Historia de dos siniestros

Feyzin, Francia (Enero 1966)

En una Planta de Almacenamiento con cuatro esferas de Propano y cuatro de Butano, se realizó una rutina de "prueba de presencia de agua" en una de las esferas de 1.200 m<sup>3</sup> con Propano presurizado.

La válvula de cierre de la toma quedó trabada provocando una pérdida de gas que no pudo detenerse formando una nube a nivel del suelo que se fue extendiendo y desplazando hasta un camino cercano donde un automóvil que pasaba desencadenó la ignición produciendo una Ráfaga de Fuego (Flash Fire) hasta la boca de descarga del Propano en vaporización, generando un mechero o antorcha sostenida (Jet Fire) justo debajo de la esfera.

Por falta de espuma para extinguirla se utilizó agua para mantener frías las otras esferas vecinas pero sin enfriar la esfera expuesta a la llama bajo el supuesto de que la válvula de seguridad se encargaría de protegerla.

Resultado:

- Unos 350 m<sup>3</sup> de Propano Líquido fueron expelidos con el estallido (Pressure Burst) de la esfera (que se rompió en cinco fragmentos), vaporizándose y provocando una inflamación instantánea que ascendió rápidamente como una nube de fuego (Fire Ball) en forma de hongo.
- Este BLEVE mató a 18 personas e hirió seriamente a otras 80.
- Un misil (fragmento de la esfera) rompió las patas de la esfera adyacente con 850 m<sup>3</sup> de Propano, y un segundo misil fue a dar en otra esfera de Butano que contenía 1.000 m<sup>3</sup>
- Subsecuentes BLEVEs y otras explosiones se sucedieron multiplicando el fuego existente.
- Se produjeron pérdidas económicas por 5 millones de dólares dentro de la refinería y por 2 millones de dólares fuera de ella.
- Sólo tres esferas llenas de Propano y Butano se pudieron mantener suficientemente frías y salvarse de la catástrofe.

**Causa del siniestro (ver mayor detalle en el punto 7):** Procedimiento operativo erróneo por inadecuada instrucción del personal, sumándose a esto una inadecuada estructura de combate del fuego y la falta (total en este caso) de un adecuado mecanismo o Sistema de Seguridad.

J. A. Cabrera 4621	Tel (54)	(11) 4833 0020	<b>SistemasDACS S.A.</b>
Buenos Aires (C1414BGI)	Fax (54)	(11) 4833 0019	
Argentina	E-mail:	dacs@dacs.com.ar	

### **Ciudad de México (Noviembre 1984)**

Planta de Almacenaje de 11.000 m<sup>3</sup> de LPG distribuido en 6 esferas de 1.600 m<sup>3</sup> c/u y 48 tanques cilíndricos (tipo cigarros o habanos), todos ellos bastante próximos entre sí.

Una pérdida de LPG formó una nube de vapor inflamable que se encendió con una llama o fuente de ignición de la vecindad.

Paredes de contención de un metro de altura dividían la Planta en 13 áreas, ayudando a la acumulación y parcial confinamiento del vapor inflamable.

La explosión inicial VCE (Vapour Cloud Explosion) desarrolló un fuego intenso que envolvió a varias esferas produciendo una sucesión de 9 explosiones BLEVE.

Como sabemos, la explosión BLEVE empieza con un Reventón (Pressure Burst) en la esfera o tanque que expulsa líquido (LPG) al exterior. Gran parte del mismo se Vaporiza (Flashing) con la caída de presión, en tanto que otra parte se sobre-enfría, produciendo un derrame o lluvia de gotas de helado LPG. Esta lluvia se esparció por un vecindario con viviendas para más de 100.000 personas.

Cuando se fueron sucediendo las inflamaciones del vapor "flasheado", las resultantes y ascendientes Bolas de Fuego (Fireballs), de 300 m de diámetro y 20 seg de duración, con su intensa capacidad radiante provocaron el encendido e inflamación de las gotas de LPG esparcidas entre viviendas y personas, hasta unos 150 m de la Planta.

Además, cada vivienda contaba con botellones de LPG para consumo domiciliario, que multiplicaron la catástrofe.

#### **Resultado:**

- Murieron unas 500 personas y otras 7.000 sufrieron daños de diferente gravedad.
- El siniestro se extendió hasta unos 300 m de la Planta, destruyó 2.000 viviendas y dañó seriamente a otras 1800.
- Los vidrios de todas las ventanas se destruyeron hasta un radio de 600 mts.
- Misiles fueron disparados en todas direcciones a grandes distancias, y entre ellos, un cilindro fue arrojado por la explosión a 1200 mts de la zona de almacenamiento.

#### **Análisis del Siniestro en Feysin**

La investigación de las causas que provocaron la catástrofe en Feysin (anterior punto 61) permitió confirmar que:

Las válvulas para drenaje y toma muestras estaban instaladas directamente debajo del tanque esférico.

Dado el peligro implícito de probables pérdidas en válvulas, estas deberían haberse instalado apartadas de la base del tanque para minimizar el riesgo de formación de un Flash - Jet Fire (antorcha) debajo del mismo.

La presencia de agua y cierto contenido de solución de hidróxido de sodio, que por su mayor densidad se ubican sobre el fondo de la esfera, obligan a una purga inicial previa a la toma de la muestra de propano.

Para esta operación las válvulas se habían instalado en una disposición serie-paralelo, con la primera válvula (de 50mm.) a la salida de la toma del fondo. A partir de aquí la cañería de drenaje se abrió en dos tramos paralelos, uno de 50mm con una válvula de igual diámetro (50mm.) y el otro con una válvula de 20mm (esta última para la toma de muestra).

La regulación del caudal de purga y/o del de la muestra, debía hacerse regulando la apertura de estas últimas válvulas.

J. A. Cabrera 4621	Tel (54)	(11) 4833 0020	<b>SistemasDACS S.A.</b>
Buenos Aires (C1414BGI)	Fax (54)	(11) 4833 0019	
Argentina	E-mail:	dacs@dacs.com.ar	

Cuando se purga, los últimos restos de agua (y de hidróxido de sodio) salen acompañados de LPG, el que por el efecto de estrangulamiento produce un fuerte enfriamiento con posible congelamiento del agua sobre el obturador y probable formación de hielo muy duro con el consecuente atascamiento de la válvula.

Para evitar o reducir este problema se había dispuesto un calentamiento de las válvulas de salida y cañerías mediante un tubo envolvente en espiral con circulación de vapor (steam tracing).

En estas condiciones la primera válvula cumplía la función de último recurso para cerrar el drenaje en caso de atascamiento de alguna de las otras dos.

Obviamente, para que así fuera, esta primera válvula no debía estar sometida al efecto de enfriamiento por estrangulamiento, para lo cual debía ser abierta en primer lugar, totalmente y sin circulación, o sea antes de abrir alguna de las otras válvulas.

Como sucede en estos casos donde no se arbitran adecuados mecanismos de seguridad que prevengan (por encima de las instrucciones operativas) las fallas humanas, sucedió que el operador hizo exactamente lo contrario, esto es, abrió primera y totalmente la segunda válvula de 50mm. y luego reguló la válvula de protección anterior para ajustar, por estrangulamiento, el caudal de drenaje, y por añadidura, sin Steam Tracing operando.

Una pequeña cantidad de agua con solución de hidróxido de sodio salió por la descarga seguida de LPG gasificándose.

El operador cerró entonces la válvula superior (con la que estaba regulando aguas arriba) y la volvió a abrir un poco para tomar la muestra.

Solo unas pocas gotas cayeron esta vez por el drenaje cesando toda circulación, razón por la cual el operador abrió la válvula totalmente.

Se escuchó un fuerte ruido provocado por el LPG abriéndose paso a través de la momentánea obturación, seguido de un chorro de LPG que salpicó al operador produciéndole quemaduras de frío en la cara y en los brazos.

Pese a esto el operador, junto con un bombero que lo acompañaba como rutina de seguridad, intentaron en vano cerrar las válvulas (dado el grado de atascamiento), por lo que el gas continuó saliendo formando una capa de nieve acompañada de una creciente nube de vapor de LPG que se fue moviendo y avanzando en todas direcciones.

Aunque se detuvo a todo el tránsito y se paralizaron las operaciones para evitar puntos de ignición que encendieran la nube, esta llegó hasta un auto recientemente detenido cuyo conductor se estaba alejando a pie de la zona (fue encontrado totalmente quemado).

La ignición de la nube fue seguida de una serpenteante llamarada (Flash Fire) que llevó el fuego hacia atrás (Fire Flash Back) hasta la boca de descarga debajo del tanque, donde se instaló formando una antorcha permanente (Flash -Jet Fire) y ascendente, con llamaradas de hasta 60 metros de alto.

Esta llama fue calentando el contenido de la esfera y elevando la presión dentro del tanque por la creciente vaporización, hasta hacer actuar la válvula de alivio (Relief Valve) pese al rociado de agua de enfriamiento (Water Spray) sobre la esfera, obviamente insuficiente dada la magnitud de las llamas.

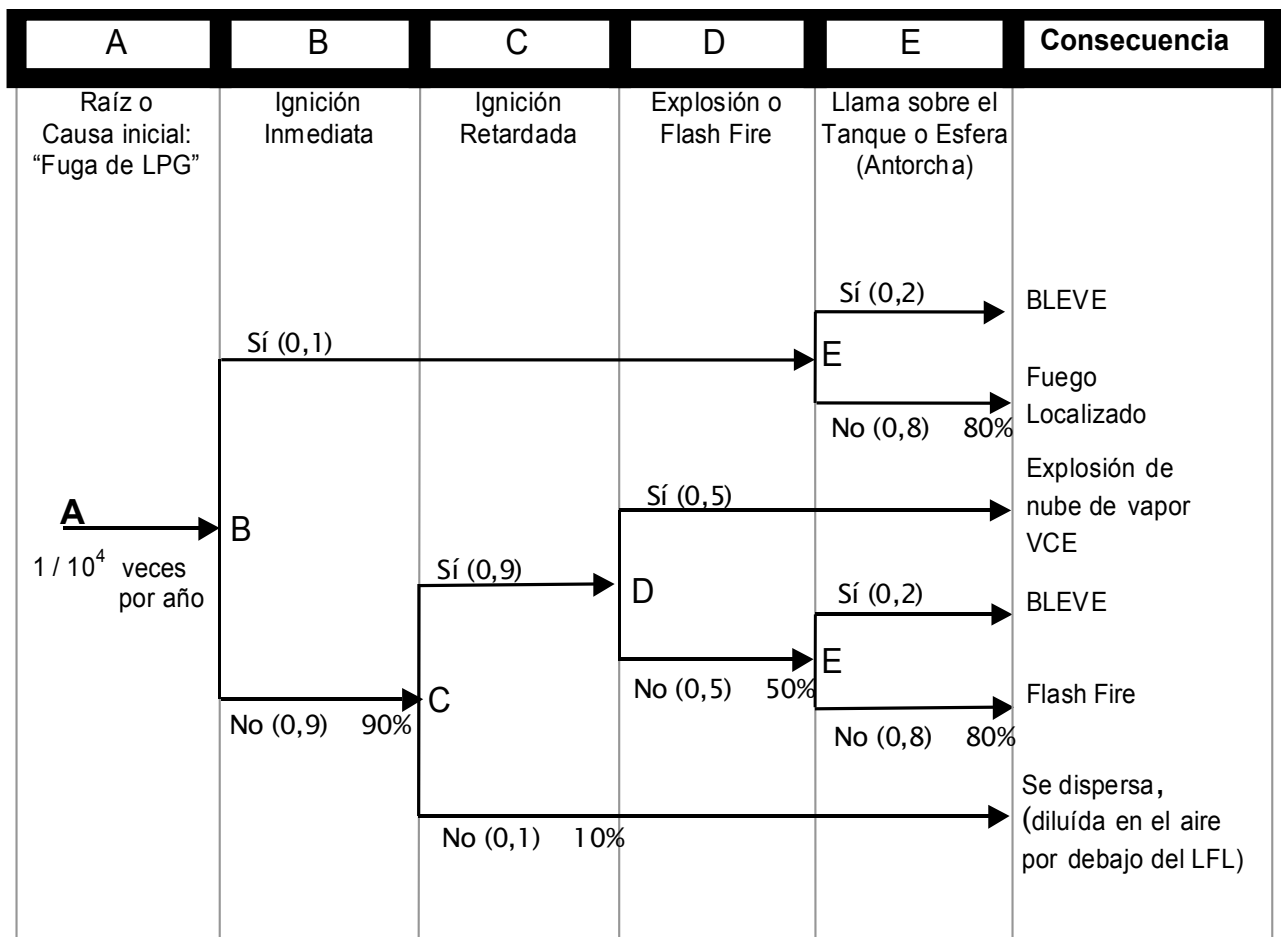
La cantidad de vapor de LPG que se producía dentro del tanque superaba largamente la capacidad de la válvula de alivio manteniéndola permanentemente abierta liberando propano vaporizado que rápidamente se convirtió en una nueva antorcha tan pronto como la nube bajante hizo contacto con el fuego de la base.

Con estas dos fuentes de calentamiento la presión dentro del tanque continuó elevándose rápidamente hasta provocar el estallido mecánico de la esfera (Pressure Burst) partiéndola en cinco fragmentos y liberando 340m<sup>3</sup> de propano en casi instantánea vaporización, el que en contacto con las llamas se inflamó produciendo una enorme bola de fuego (Fire Ball) ascendente con forma de

hongo, seguido de una intensa radiación de muy alta temperatura, un alto consumo de oxígeno (asfixia) y fuertes vientos por succión (Fire Storm).  
El resto de la tragedia se detalló en el punto 6.1.

### Event Tree (Arbol de eventos)

No es propósito de este artículo el ahondar en las técnicas de análisis de situaciones de peligro, de probabilidades de riesgos ni de la evaluación de sus consecuencias, pero para el caso que nos ocupa resulta muy ilustrativo mostrar la estructura de un árbol de eventos, esto es, un gráfico secuencial con una causa inicial (Raíz) del problema (evento inicial) y las posibles derivaciones o ramas subsiguientes a que dicho evento inicial puede conducir (indicando en cada ramificación el valor de la probabilidad de que el mismo suceda). Dibujaremos el árbol acostado con la raíz sobre la izquierda



### Medidas Preventivas

Las medidas básicas obvias pasan por evitar al máximo el establecimiento de llamas continuas y/o autosostenidas (antorchas Jet/Flash Fires) que provoquen calentamiento en los tanques esféricos y/o en los tanques cilíndricos horizontales.

Las primeras precauciones a tomar son del tipo mecánicas, tales como darle cierta pendiente al terreno para evitar acumulación de material inflamable debajo de los tanques evitando además todo

J. A. Cabrera 4621	Tel (54)	(11) 4833 0020	<b>SistemasDACS S.A.</b>
Buenos Aires (C1414BGI)	Fax (54)	(11) 4833 0019	
Argentina	E-mail:	dacs@dacs.com.ar	

otro componente que pudiera sostener un fuego (pasto incluido) tales como válvulas, bridas y uniones con juntas o empaquetaduras que son fuentes de probables pérdidas en las que una fuga podría convertirse en una nube de vapor inflamable, debiendo tenerse presente que los gases de LPG son mas pesados que el aire y bajan para formar bolsones o nubes a ras del piso que, de inflamarse, pueden dar lugar a una explosión y/o convertir al punto de fuga en un mechero o antorcha (Jet/Flash Fire), el que a su vez, de estar ubicado debajo o cerca del tanque de LPG, provocará el calentamiento del contenido pudiendo llegar a provocar sobrepresión, reventón del tanque contenedor y posterior BLEVE.

Por lo tanto, Detectar la fuga de gases para anticiparse a la formación de una nube de vapor inflamable y Detectar el movimiento de la nube para impedir a tiempo su viaje hacia un foco de ignición, son dos medidas preventivas básicas esenciales que imponen el uso de:

- Detectores Puntuales de gases inflamables (narices detectoras) para sensar fugas en sus probables zonas de pérdidas (válvulas, uniones, etc) y/o
- Detectores Confiables de Paso Abierto (barreras detectoras perimetrales) para sensar la salida de nubes de vapor inflamable fuera de las fronteras de seguridad.

La Detección Óptica de Llama con sensores de diseño apropiado es un medio muy confiable y veloz para alertar inmediatamente la presencia de algún foco de fuego que pueda dar lugar a una catástrofe, permitiendo además elaborar comandos automáticos de prevención y protección, tal como el habilitar medios de extinción para eliminar los focos de fuego y/o habilitar agua a rociadores (water sprays o sprinklers) para crear una lluvia de enfriamiento sobre los tanques.

El drenaje de un tanque está expuesto a inflamarse por lo que debe ser cuidadosamente evaluada su ubicación y diseño, recordando que si la llama "golpea" a la esfera o tanque por debajo del nivel de LPG líquido, la vaporización del líquido dentro del tanque va absorbiendo calor y manteniendo la temperatura en el valor de ebullición que corresponde a la presión interna de la esfera, pero que, con la persistencia de la llama, esta presión interna obviamente irá creciendo junto con la mayor formación de vapor hasta alcanzar el "timbre" ó presión de disparo de la válvula de seguridad.

Este disparo representa un problema adicional en tanto descargue al medio ambiente, dado que el propósito del diseño e incorporación de una válvula de alivio (Relief Valve) es precisamente el de simplemente aliviar con un soplido (o eructo) las sobrepresiones internas "ocasionales" que así se reducen rápidamente con la eliminación de un reducido volumen de gas el que a su vez se dispersa fácilmente en el ambiente.

Pero cuando la vaporización de LPG (Boiling Liquid) es grande y sostenida por efecto de un calentamiento persistente, la válvula de alivio ya no podrá realizar su trabajo de "eructar" un poco de gases y volver a cerrar, quedando permanentemente abierta para seguir desalojando (dada su limitada capacidad) parte del excedente de los gases que se van generando y cuya descarga (según donde se haya previsto) puede sumarse al siniestro, formando una nueva nube inflamable que provoque una VCE (Vapor Cloud Explosion) y/o un Flash Fire viajando hacia la boca de la cañería de descarga de la válvula de alivio donde se instalará una antorcha adicional tipo Jet Fire.

Cabe también advertir que en la medida que disminuya el contenido de LPG. líquido, una mayor superficie del tanque irá quedando sin la protección del "enfriamiento" de las paredes que produce la vaporización del líquido por absorción de calor, permitiendo que el fuego "Stresse" mas rápidamente el material del tanque, debilitándolo, a la vez que sobrecalentando mas rápidamente la fase vapor (Gas). Este proceso terminará por elevar la presión en el interior del tanque hasta provocar su reventón (Pressure Burst) con la consecuente Blast Wave, Misiles, liberación del contenido, Flashing y Explosion con Fire Ball (BLEVE, Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion).

La única forma de evitarlo es Detectar y Extinguir (Fire Detection and Suppression) rápidamente el foco de fuego inicial.

J. A. Cabrera 4621	Tel (54)	(11) 4833 0020	<b>SistemasDACS S.A.</b>
Buenos Aires (C1414BGI)	Fax (54)	(11) 4833 0019	
Argentina	E-mail:	dacs@dacs.com.ar	

Simultáneamente deberán mantenerse refrigerados tanto los tanques afectados por las llamas como los tanques vecinos, mediante rociadores de agua.

La detección temprana de escape de LPG (Explosion Prevention) así como la detección rápida de presencia de fuego y su pronta extinción son básicos para la prevención y reducción del riesgo de siniestro.

La definición de los tipos y cantidades apropiadas de:

- Los detectores de fugas de gases y vapores y de su concentración en el ambiente (nivel de flamabilidad),
- De los detectores de fuego, y,
- Muy en particular, el diseño, nivel de integridad, calidad, confiabilidad, tolerancia a fallas, condición failsafe, cobertura de diagnóstico etc, del Sistema de Monitoreo, Comunicación de la información, Alarma y Accionamiento (Releasing).

No forman parte de este artículo (recomendamos referirse al Art. FG-316 del Ing. Roberto Fernández Blanco, "El Por Qué y el Cómo en Sistemas de Seguridad, Monitoreo y Protección"), pero corresponde advertir que normas de muy recientemente actualización y consolidación imponen exigencias sumamente rigurosas que deben ser cumplidas y avaladas por approvals "específicos" con alcances precisos.

A título de referencia las normas requieren:

- Definir la Clasificación del Área o Zona Peligrosa.
- Determinación de las necesarias funciones de Seguridad a implementar (SIF)
- Determinar el Nivel SIL del proceso (ver IEC, FMRC, ISA, etc)
- Detección de situaciones de peligro con alta velocidad de respuesta,
- Alto grado de Confiabilidad (Dependability, Reliability) en detectores y sistemas,
- Alto grado de Precisión (Accuracy) y de Precisión Sostenida (sin corrimientos o deslizamientos de calibración que exijan verificaciones y recalibraciones frecuentes) de los equipos de detección,
- Elevada disponibilidad (alto nivel de Availability o continuidad operativa a plena capacidad),
- Elevado MTTF (Mean Time To Failure) o MTBF (Mean Time Between Failures), aunque esta última definición incorpora el MTTR (Mean Time to Repair) como muy importante requerimiento.

Este requerimiento (en lenguaje llano y sintético) implica contar con "equipamiento de bajo mantenimiento y de fácil y rápida reparación para una pronta reposición del mismo en servicio pleno, con:

- (a) Máxima capacidad de autodiagnóstico (Diagnostic Coverage) para localizar e identificar fallas internas.
- (b) Fácil calibración y/o verificación mediante métodos no intrusivos que no impongan la necesidad de tener que abrir el equipo dado que el impedimento que impone el riesgo del área clasificada explosiva obligará a tener que esperar una parada del sector y una desclasificación (degradación) del área a nivel seguro para poder reparar dicho equipo, obligando a operar sin protección hasta entonces con el consecuente riesgo implícito.
- (c) Fácil y rápida reparación y mantenimiento con la planta en operación. (Garantizada por escrito con el aval de un instituto calificador).
- (d) Múltiples opciones de señales de salida de detectores, esto es, señales digitales por contactos (alarma y falla), señal analógica de corriente de 0 a 20 mA y/o señales de comunicaciones por

J. A. Cabrera 4621	Tel (54)	(11) 4833 0020	<b>SistemasDACS S.A.</b>
Buenos Aires (C1414BGI)	Fax (54)	(11) 4833 0019	
Argentina	E-mail:	dacs@dacs.com.ar	

buses seguros que incluso permitan el acceso a información, calibración y/o verificación de cualquier equipo desde cualquier nodo de la planta y sin riesgo.

- (e) Bajo grado de probabilidad de falla por requerimiento de detección de peligro (Low Probability of Failure on Demand -PFD-) el que deberá corresponderse con el nivel SIL predeterminado, asegurando la reducción de riesgo (Risk Reduction) requerida por las normas (IEC Y FMRC) y con garantía de aprobación para dicha aplicación específica con sello TUV o FMRC.
- (f) Un proceso de riesgo debe estar protegido por un Sistema Instrumentado Seguro (Safety Instrumented System) que sea Failsafe de muy alto availability, con opción Tolerante a Fallas, y que permita el inmediato acceso (con garantía escrita del proveedor respaldada por un ente calificador) para la reparación de cualquier componente del sistema (Detectores, Unidades de Comunicación, Buses, Cableados, Actuadores, Módulos de señales, Procesadores, etc.) particularmente en los elementos de campo ubicados en Areas de Clasificación Explosiva, sin pérdida en el nivel de seguridad del proceso y del área protegidas, bajo condiciones operativas continuas estandars, esto es, dentro de los niveles SIL preestablecidos).
- (g) El lema a recordar y aplicar es que "el costo diferencial" entre el costo de un Sistema de Seguridad (incluyendo todos los elementos del sistema: detectores, avisadores, unidades procesadoras, actuadores, alarmas, etc.) integrado de acuerdo con los requerimientos de las Normas y aprobaciones de aplicación para el nivel SIL (Safety Integrity Level) impuesto por el proceso, y el costo de un sistema integrado por debajo de estos requerimientos y sin el approval de garantía de organismos verificadores (TÜV, FMRC) es despreciable e insignificante frente al mayor riesgo (y costo) de destruir vidas (incluida quizás la vida de uno mismo) y bienes, sumado al costo de paralización de la producción y su efecto dominó sobre otros negocios o procesos asociados, más costos de reparación e indemnizaciones.

#### **En síntesis:**

Un Sistema de Seguridad no debe (ni puede, según exigencias de las Normas) ser adquirido si no cuenta con el sello de aprobación de TÜV, FMRC u otro organismo calificador que lo certifique y lo garantice como apto para la protección del proceso según el Nivel SIL que le corresponde.

Debe además contar con certificación escrita (en lo posible avalada por TÜV, FMRC u otras instituciones) que garantice que su diseño e instalación (de manera directa o por total desenergización del equipo y del bus de comunicaciones) permite la apertura de cualquier componente de campo sin tener que interrumpir la operación segura del resto del Sistema de Monitoreo y Protección y -muy especialmente- que garantice que al abrirlo (con la planta en operación) no exista riesgo alguno de que se convierta en un punto de ignición de la posible mezcla inflamable o explosiva que categoriza el área o zona clasificada.

De no ser así -caso bastante común en diseños no ejecutados de acuerdo a normas- la falla de un componente de campo que no permite un acceso seguro garantizado, hará que éste quede fuera de servicio hasta que pueda desclasificarse el área o desenergizarse todo el sistema, obligando a prescindir de la protección prevista a través de dicho componente y, en consecuencia elevando el factor de riesgo.

#### **Anécdota**

Para terminar este artículo con una anécdota y dar una rápida idea de "atrocidades técnicas" (obviamente desautorizadas por las normas) advertimos que hemos visto a "Empresas Especializadas" instalar en Areas Explosivas (para ganar la obra por bajo precio) sistemas instrumentados con Fire Alarm Panels aprobados para Building (lo que significa "únicamente" para Building), colocando los componentes de campo del lazo de comunicaciones (esto es, en las áreas clasificadas como explosivas) encerrados en cajas a prueba de explosión con selladores.

J. A. Cabrera 4621	Tel (54)	(11) 4833 0020	<b>SistemasDACS S.A.</b>
Buenos Aires (C1414BGI)	Fax (54)	(11) 4833 0019	
Argentina	E-mail:	dacs@dacs.com.ar	

Los cambios de temperatura en el campo de la noche al día, del verano al invierno y las condensaciones internas, hacen al sistema totalmente ineficiente, inseguro y no confiable, con muy corta vida operativa, por más que algún temerario lo considere posible usando una caja a prueba de explosión de mayor o menor capacidad, revestida con pintura especial o con aislación térmica del tipo que quiera imaginarse y con una bolsita de silica gel para combatir la humedad y la condensación resultante del cambiante punto de rocío interno.

Aceptar este tipo de aplicaciones es una grave falta del usuario ya que, ante la catástrofe, será el usuario quien no podrá eludir su exclusiva responsabilidad legal.

**SU ÚNICA PROTECCIÓN SEGURA (TÉCNICA Y LEGAL) ES OBSERVAR LAS NORMAS RIGUROSAMENTE.**

Ing. Roberto Fernández Blanco  
Mayo 2001.