

El análisis histórico como método para la estimación de frecuencias objetivo de incendio y explosión

La legislación vigente para el control de accidentes graves, en particular el Real Decreto 1196/2003 [1], establece en su artículo 4.4.4 que el análisis cuantitativo de riesgos (ACR) y los elementos de fiabilidad asociados al mismo (estimación de frecuencias de sucesos iniciadores y accidentes finales) pueden ser herramientas clave en la gestión del riesgo cuando así se estime oportuno. Normalmente la exigencia de un ACR y la aplicación de técnicas probabilísticas viene motivada por la presencia de elementos vulnerables dentro del radio de acción de los efectos en caso de accidente. Habitualmente se utiliza la Zona de Intervención (ZI) como radio de afectación, tal como viene definido en el Real Decreto 1196/2003, para tomar una decisión de este tipo.

Juan A. Vílchez y Estrella Blanco
TIPs - Trámites, Informes y Proyectos

LAS TÉCNICAS PROBABILÍSTICAS requeridas para un ACR han cobrado un nuevo impulso con la implantación paulatina de los sistemas instrumentados de seguridad (SIS), tal como vienen establecidos en la norma UNE-EN 61511 [2]. En determinados casos de selección SIL puede ser requerido un detallado estudio LOPA (Layer Of Protection Analysis), en el que se evalúen las frecuencias y los daños derivados de accidentes finales, considerando la probabilidad fallo de las diferentes capas de protección que incorpora el proceso. También el nivel SIL de cada función instrumentada puede realizarse utilizando una asignación basada en frecuencia objetivo [3]. Para ello es necesario especificar los valores de frecuencia de accidente final que no pueden ser superados, considerando las salvaguardas que incorpora el proceso.

Dos tipos de accidentes grave caracterizan el riesgo en instalaciones de almacenamiento de hidrocarburos y de refino de petróleo:

- Incendios de gran magnitud en parques de tanques (Foto 1)
- Explosiones en proceso, con afectación generalizada a la unidad afectada y sus alrededores (Foto 2)

En el presente artículo se expone la estructura formal y los elementos técnicos que permiten estimar frecuencias objetivo de incendio y explosión en instalaciones de refino, sobre la base de un análisis histórico de las frecuencias de ocurrencia de sucesos de esta índole.

FRECUENCIA HISTÓRICA DE ACCIDENTES EN TANQUES DE HIDROCARBUROS

La revisión histórica de accidentes con resultado de incendio en tanques de almacenamiento con sustancias petrolíferas demuestra que la mayoría de los datos promedio de frecuencia de incendio de gran magnitud en instalaciones de este tipo se sitúa en el rango de $2 \cdot 10^{-3}$ – $8 \cdot 10^{-4}$ año⁻¹.

Con objeto de confirmar estos datos, se ha realizado una investigación detallada sobre las frecuencias de in-

En este artículo se utiliza un análisis histórico como metodología para la estimación de frecuencias objetivo de incendio y explosión en instalaciones de almacenamiento de hidrocarburos y refino de petróleo

cenidio. La Tabla 1 incluye las diferentes referencias consultadas, y aporta las cifras numéricas asociadas a las mismas.

A partir de los datos anteriores se pueden determinar unas frecuencias medias, cuyos valores pueden ser ponderados en función del número de accidentes y del número de tanques. Según se realice esta ponderación, las cifras obtenidas son diferentes:

- Valor medio de frecuencias sin ponderar $2,0 \cdot 10^{-3}$ (año⁻¹) (media arit-

mética de las frecuencias sin considerar nº de tanques año o accidentes).

- Valor medio de frecuencias ponderadas tomando como referencia el número de accidentes $2,4 \cdot 10^{-3}$ (año⁻¹).

- Valor medio de frecuencias tomando como referencia el número de tanques año $1,5 \cdot 10^{-3}$ (año⁻¹).

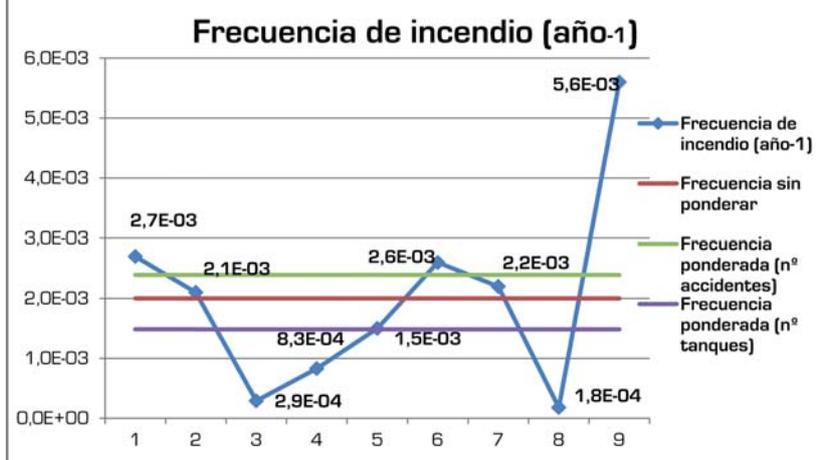
La Figura 1 representa gráficamente los datos recopilados y los valores medios calculados.

A priori la utilización del valor medio no sería significativo, dado que en algunos casos la frecuencia se ha



Tabla 1. Estadística de incendios en tanques

Fuente	Número de accidentes	Número de (tanques por año)	Frecuencia de incendio por tanque (año ⁻¹)
API (1969-1977) [4]	270	100.000	2,7•10 ⁻³
	63	30.000	2,1•10 ⁻³
Lees (US refineries 1982-85) [5]	29	100.000	2,9•10 ⁻⁴
	25	30.000	8,3•10 ⁻⁴
Saval-Kronenburg (1981-1984) [6]	1	673	1,5•10 ⁻³
US Refinery & Petrochemical Data (1965-1975) [7]	10	3.883	2,6•10 ⁻³
Scottish North Sea Oil Terminals [8]	1	461	2,2•10 ⁻³
Singapore (1945-1989) [9]	2	11.125	1,8•10 ⁻⁴
	12	2.151	5,6•10 ⁻³

Figura 1. Frecuencias de incendio y valores promedio en función de la técnica de ponderación utilizada

obtenido con una muestra muy reducida. Parece lógico adoptar un valor promedio de incendio considerando algún tipo de ponderación en función del tamaño de la muestra. Un valor representativo promedio y ponderado de incendio se obtendría utilizando los dos últimos casos expuestos, resultando $1,95 \cdot 10^{-3}$ (año⁻¹). El valor, a efectos prácticos, es equivalente al obtenido con la media sin ponderar.

En el presente estudio, y con el fin de dotarlo de un carácter conservador, se propone la cifra de frecuencia objetivo de incendio de 10^{-3} (año⁻¹) como valor representativo de la fre-

cuencia máxima de incendio por tanque en una instalación de almacenamiento de hidrocarburos protegida, conforme a los estándares de referencia. Hay que destacar que el valor propuesto de frecuencia objetivo sería el máximo a obtener en un análisis LOPA y/o SIL. De manera menos conservadora, y con objeto de considerar la simultaneidad de riesgos, este valor de frecuencia objetivo puede ser multiplicado por el número de tanques en cubeto común o sector de incendios.

Un estudio estadístico de la representatividad de este valor respecto a

la distribución esperable en función de los datos disponibles puede establecerse aceptando la hipótesis de distribución normal aleatoria de las muestras históricas. Es factible calcular el valor medio de la frecuencia de incendio (en este caso sin ponderar) con un determinado margen de error (en %) utilizando el estadístico "t de Student", de acuerdo con la siguiente expresión (1):

$$\mu = x \pm t \frac{s}{\sqrt{N}} \quad (1)$$

μ Media estimada para la población.

x Media calculada a partir de los datos de la muestra.

s Desviación tipo a partir de los datos de la muestra.

N Tamaño de muestra.

t t de Student.

En este caso el valor medio de frecuencia de incendio (sin ponderar) se situaría en $2,0 \cdot 10^{-3}$ año⁻¹, con una desviación de $\pm 1,3 \cdot 10^{-3}$ año⁻¹ (con un margen de error del 95% en una distribución t de Student).

Este resultado refuerza la hipótesis conservadora adoptada de 10^{-3} año⁻¹ para la frecuencia objetivo de incendio, al ocupar este valor el extremo inferior del margen de confianza calculado para la distribución.

Tabla 2. Estadística de explosiones en plantas de proceso

Tipo de unidad	Nº de explosiones	Nº de unidades por año	Frecuencia de explosión (por año de operación)
Alquilación	4	7.800	5,1•10 ⁻⁴
“Cracking” catalítico	6	8.240	6,5•10 ⁻⁴
Reformado catalítico	4	15.180	2,6•10 ⁻⁴
Unidades de crudo	7	14.340	4,9•10 ⁻⁴
“Hidrocracking”	2	3.540	5,6•10 ⁻⁴
Hidrotratamiento	5	25.500	2,0•10 ⁻⁴
Todas las plantas estudiadas*	48	112.740	4,3•10 ⁻⁴

*Total de explosiones, incluyendo otros tipos de unidades

FRECUENCIA HISTÓRICA DE EXPLOSIONES EN PLANTAS DE PROCESO

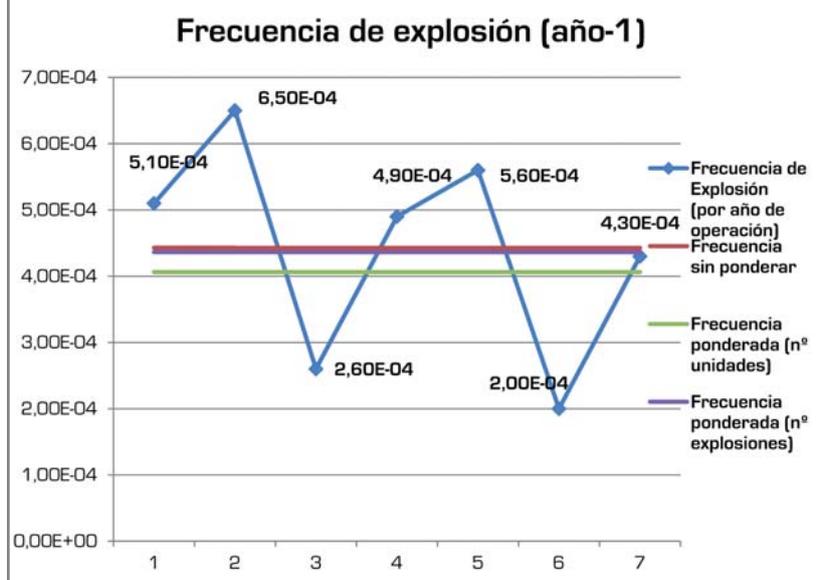
Según Fryman (1993) [10], la frecuencia genérica de explosiones en plantas de proceso ubicadas en refinería es de $4,3 \cdot 10^{-4} \text{ año}^{-1}$. La frecuencia específica por tipo de área de proceso se recoge en la Tabla 2.

De modo similar a como se ha hecho en el caso de incendios, a partir de los datos anteriores se pueden determinar unas frecuencias medias, cuyos valores deben ser ponderados en función del número de explosiones y del número de unidades por año.

Cabe la posibilidad de realizar la ponderación dividiendo el total de explosiones (48) entre el total de unidades por año (112.740). En este caso el resultado coincide con el valor sugerido por Fryman: $4,26 \cdot 10^{-4} \text{ (año}^{-1}\text{)}$. Otros resultados son factibles en función del modo de promediar:

- Valor medio de frecuencias sin ponderar $4,43 \cdot 10^{-4} \text{ (año}^{-1}\text{)}$ (media aritmética de las frecuencias sin considerar nº de unidades por año o explosiones).
- Valor medio de frecuencias ponderadas tomando como referencia el número de explosiones $4,36 \cdot 10^{-4} \text{ (año}^{-1}\text{)}$.
- Valor medio de frecuencias toman-

Figura 2. Frecuencias de explosión y valores promedio en función de la técnica de ponderación utilizada



do como referencia el número de unidades por año $4,06 \cdot 10^{-4} \text{ (año}^{-1}\text{)}$.

La Figura 2 representa gráficamente los datos recopilados y los valores medios calculados.

Un valor representativo promedio y ponderado de frecuencia de explosión se obtendría utilizando los dos casos de valores promedio ponderados, resultando $4,21 \cdot 10^{-3} \text{ (año}^{-1}\text{)}$. El resultado, a efectos prácticos, es equivalente

al obtenido con la media sin ponderar y la propuesta por Fryman.

En el presente estudio, y con el fin de dotarlo de un carácter conservador, se propone como cifra de frecuencia objetivo de explosión el valor $10^{-4} \text{ (año}^{-1}\text{)}$, representando la frecuencia máxima de explosión en una planta de proceso diseñada conforme a los estándares habituales de referencia (normas API, ASME, TEMA, NFPA, etc.).

El presente trabajo recopila frecuencias genéricas de incendio y explosión del sector del refino que pueden ser utilizadas con diversos fines como frecuencia meta a conseguir con análisis LOPA y SIL, sistemas de protección contra incendio, o con sistemas instrumentados de seguridad

Del mismo modo, es posible realizar un estudio estadístico de la representatividad de este valor respecto a la distribución esperable, aceptando la hipótesis de distribución normal aleatoria de las muestras históricas y utilizando la t de Student.

CONCLUSIONES

El presente trabajo recopila frecuencias genéricas de incendio y explosión del sector del refino que pueden ser utilizadas con diversos fines:

- Frecuencia meta a conseguir con análisis LOPA y SIL.

- Frecuencia meta a conseguir con sistemas de protección contra incendios.

- Frecuencia meta a conseguir con sistemas instrumentados de seguridad.

Las frecuencias objetivo propuestas son:

- Incendio: 10^{-3} año⁻¹ (a multiplicar por el nº de tanques en cubeto común).

- Explosión: 10^{-4} año⁻¹

Estas frecuencias objetivo son congruentes con el análisis histórico realizado y pueden complementar los datos genéricos disponibles en guías de reconocido prestigio para la cuanti-

ficación de riesgos. Por ejemplo, CCPS [10], CPR 18E [11] o BEVI 3.2 [12].

BIBLIOGRAFÍA

[1] Real Decreto 1196/2003, de 19 de septiembre, por el que se aprueba la Directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas. BOE (2003)

[2] UNE-EN IEC 61511, Sistemas instrumentados de seguridad para el sector de las industrias de proceso. Partes 1, 2 y 3, AENOR (2006)

[3] Marszal E. et al., Safety Integrity Level Selection, ISA (2002)

[4] The API Risk Analysis Task Force, Document No 1, May (1977)

[5] Lees, F.P., Loss Prevention in the Process Industries, 2nd Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, 1996, p.A14/11

[6] Saval-Kronenburg BV (fabricante de equipos contra incendio)

[7] USA Refinery and Petrochemical (1965-1975)

[8] Scottish North Sea Terminals, for 461 tank•years

[9] Singapore Statistic, data since 1945

[10] Fryman C.E., Screening Methodology for Assessing the Adequacy of Blast Protection for Control Rooms and Other Site Buildings: A Workbook for BP Oil Refineries, Report No. 1993-221031, BP (1993)

[11] CCPS, Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, 2nd Ed, AIChE (2000)

[12] CPR 18E, Guidelines for quantitative risk assessment, 'Purple Book', RVIM (1999)

[13] BEVI 3.2 Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, 2nd Ed, RIVM (2009)



ITC, empresa nacional fabricante de bombas dosificadoras con más de 20 años de experiencia en el sector.

Amplia gama de productos: bombas dosificadoras eléctricas de membrana y de pistón, bombas de motor hidráulico, electromagnéticas, agitadores, controladores y accesorios (sensores, válvulas,...) todos ellos adaptables a las necesidades de cada cliente.

Ingeniería propia, asistencia técnica y servicio de recambios y reparaciones de rápida respuesta.

ELECTRIC
HYDRAULIC
MAGNETIC
CONTROLLER



BOMBAS DOSIFICADORAS
Membrana
Pistón



BOMBAS DOSIFICADORAS
Electromagnéticas



CONTROLADORES
Tratamiento de agua
pH | EC | ORP | IQ | Cl2



KIT DOSIFICACIÓN
Agitación y dosificación



AGITADORES DE TURBINA