

# CARACTERÍSTICAS DE LOS ACCIDENTES DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN QUE PUEDEN OCURRIR EN LA INDUSTRIA PETROLERA

Ing. Julio Ariel Dueñas Santana<sup>1</sup>, Diaumary Hernández Pereira<sup>2</sup>, Claudia Pablos Medina<sup>3</sup>, Marynés López Pena<sup>4</sup>, Melissa García Guirola<sup>5</sup>, Orelvis González Gómez<sup>6</sup>, Maylín Luis León<sup>7</sup>

1. Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba. [julio.ariel@umcc.cu](mailto:julio.ariel@umcc.cu)

2,3,4,5,6,7. Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba.

## Resumen

El objetivo de este trabajo es identificar las características de los accidentes de incendio y explosión que pueden ocurrir en la industria petrolera; en especial, en la que transporta hidrocarburos como las Empresas Comercializadoras de Combustibles. El primer paso en el Análisis Cuantitativo de Riesgos es el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de cada escenario, y para eso la identificación de los accidentes que pudieran ocurrir es fundamental. Los escenarios relacionados a incendios y/o explosiones que se identifican son: charco de fuego, nube de vapor inflamable, nube de vapor explosiva, BLEVE y el borbollón. Además, se tiene evidencia, de que en los tanques de almacenamiento y en las tuberías ocurren una gran parte de accidentes provocados por incendios y explosiones.

*Palabras claves: incendio; explosión; riesgo; industria petrolera; accidentes.*

---

## Introducción

En este trabajo se analiza lo planteado por diferentes bibliografías, desde las clásicas de análisis de riesgos, como las más modernas, acerca de los escenarios que pueden manifestarse debido a incendios y/o explosiones; así como sus características fundamentales. El objetivo de este trabajo es identificar las características de los accidentes de incendio y explosión que pueden ocurrir en la industria petrolera; en especial, en la que transporta hidrocarburos como las Empresas Comercializadoras de Combustibles

Según el Manual Práctico de Control de Riesgos de Accidentes Mayores del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 1999), los accidentes en la industria de procesos, pueden ser diferentes en cuanto a la forma en que se producen y por las sustancias químicas relacionadas con los mismos. A pesar de esto, tienen una característica en común: fueron acontecimientos no controlados, generalmente provocados por incendios o explosiones y escapes de sustancias tóxicas que causan la muerte o lesionan a un determinado número de personas, tanto dentro como fuera de la industria. Además, causan daños considerables en los bienes materiales y en el medio ambiente.

Según la Comisión de las Comunidades Europeas (Poljanšek *et al.*, 2017) un accidente principal significa un acontecimiento que puede ser una emisión importante, un incendio o una explosión, resultante de hechos no controlados en el curso de una actividad industrial, que provoca un peligro grave para el hombre, inmediato o aplazado, dentro o fuera del establecimiento, y para el medio ambiente, y que entraña una o más sustancias peligrosas.

Los riesgos industriales graves están relacionados a la posibilidad de incendio, explosión o dispersión de compuestos tóxicos. Por lo general, comprenden, el escape de material de un recipiente, seguido si la sustancia es volátil, de su evaporación y dispersión. (PNUMA, 1999).

## Desarrollo

Según Casal *et al.*, (2002), Wells, (2003), y Aboud, (2008) el incendio, entre los diversos accidentes que pueden ocurrir en una industria, es el que tiene un radio de acción menor. No obstante, sus efectos pueden ser temibles, puesto que la radiación térmica puede afectar a otras partes de la planta y generar nuevos accidentes como explosiones y escapes. Además, el humo puede, además, complicar notablemente la actuación de los equipos de intervención y someterlos a un peligro adicional como la falta de visibilidad o intoxicación.

Según Casal *et al.*, (2002) y Zhou *et al.*, (2016) los estudios de diversa índole en el análisis histórico de accidentes han revelado que después de los escapes, el incendio es el que presenta un mayor número de registros, seguidos por la explosión y la formación de una nube de gas.

Casal *et al.*, (2002) plantean que cuando se produce un escape de un líquido inflamable, uno de los tipos de incendio, son los charcos de fuego al aire libre. Estos se originan cuando se produce un escape o vertido de un líquido combustible sobre el suelo y en el exterior. En caso de que se produzca la ignición del líquido derramado, el tipo de fuego resultante dependerá en gran medida de si el escape es continuo o instantáneo. Si el escape es instantáneo, el líquido se irá esparciendo hasta que encuentre una barrera o hasta que se haya consumido todo el combustible en el incendio. En caso de un escape continuo, el charco irá creciendo hasta que la velocidad de combustión iguale el caudal de vertido. De esta manera, se llega a un diámetro de equilibrio, que se mantiene mientras no se detiene la fuga. Por otra parte, si el líquido queda retenido dentro de algún recipiente o área protegida, como puede ser una cubeta, el incendio no dependerá tanto de si el escape es instantáneo o continuo. En los casos en los que no hay muro de contención, se tendrá que hacer previamente la distinción entre si el escape es instantáneo o continuo. En la mayoría de los modelos se hace necesario conocer el diámetro del incendio.

La máxima velocidad de quemado está en función del calor neto de combustión y del calor requerido para su vaporización. La radiación domina el régimen de combustión para diámetros de llamas mayores a un metro, porque la llama se convierte en un cuerpo de radiación grueso ópticamente. (Wells, 2003).

Gyenes *et al.*, (2017) afirman que en caso de un derrame de un material inflamable existen diversos escenarios, en dependencia de la naturaleza del líquido derramado. Si cercano al derrame hay una potencial fuente de ignición, lo más probable a ocurrir es un charco de fuego. En caso de que no ocurra la ignición inmediata, este líquido se evapora y se forma una nube de vapor, la cual puede incendiarse o explotar si ocurre la ignición.

Casal *et al.*, (2002), API (2016) y Blengini *et al.*, (2017) establecen que los incendios en depósitos de almacenaje de hidrocarburos son relativamente frecuentes. Teniendo en cuenta que las cantidades almacenadas suelen ser elevadas, las consecuencias de este tipo de incendios pueden llegar a ser imprevisibles.

Existe una tipología muy variada de incendios que pueden directamente afectar a los depósitos de almacenaje, pero uno de los más peligrosos, tanto por la magnitud de sus consecuencias, como por su difícil predicción, es el llamado boilover o slopover, aunque en ocasiones se le llama foamover o puking, conocido también por incendio de borbollón. (Casal *et al.*, 2002).

Según Casal *et al.*, (2002) y Nwabueze, (2016) el borbollón puede producirse generalmente en depósitos que contienen mezclas de diversos hidrocarburos. Si en uno de estos depósitos se produce un incendio, que puede durar horas, la capa superficial de hidrocarburo se va calentando debido a la radiación del incendio. Esta capa entra en ebullición, experimentando un proceso de destilación: los componentes más volátiles pasan en mayor medida a la fase vapor, alimentando la llama. De esta forma, al irse enriqueciendo en los componentes más pesados, esta capa superficial va aumentando, a su vez, la temperatura. A

medida que transcurre el tiempo, la capa rica en productos menos volátiles, más pesados, aumenta de espesor, progresando en profundidad. La velocidad a la que aumenta su espesor es mayor que la velocidad a la que retrocede la superficie del líquido contenido en el depósito. De esta forma una onda de calor se propaga hacia la parte inferior del depósito. Si en el mismo hay agua, en forma de una capa acuosa o de emulsión, esta ola de calor llegará a la capa acuosa y se encuentra a una temperatura superior a la de ebullición del agua.

Esto provoca una cierta vaporización inicial del agua y la turbulencia propia de este fenómeno provocará la mezcla de ambas capas, con una fuerte vaporización de agua. Entonces, ocurre la generación, prácticamente instantánea de una gran cantidad de vapor, con un volumen específico muy superior al del líquido, provocando una violenta erupción, con la formación de una bola de fuego y la proyección del combustible hacia el exterior, que puede ser hasta distancias considerables. (Nwabueze, 2016).

No todos los combustibles son susceptibles a experimentar este fenómeno. Este está asociado a aquellos compuestos que poseen una serie de componentes con una amplia gama de temperaturas de ebullición como lo es el petróleo crudo. Aunque es posible el boilover con hidrocarburos puros, pero es menos frecuente. En todo caso lo que sí tiene que cumplirse para la ocurrencia de este fenómeno, es que la temperatura de ebullición del combustible sea superior a la del agua. (Casal *et al.*, 2002).

Según Casal *et al.*, (2002), Wells, (2003), Whemeier y Mitropetros, (2016) y Nwabueze, (2016) para que se produzca el boilover es necesario en general que se cumplan tres condiciones:

- Presencia de agua en el recipiente.
- Generación de una ola de calor, es decir, existencia de una amplia gama de volatilidades en los componentes presentes en el depósito.
- Que la viscosidad del hidrocarburo sea suficientemente elevada para dificultar el paso del vapor.

Los efectos derivados de un boilover pueden resumirse en dos según Casal *et al.*, (2002): efecto de bola de fuego y efecto de proyección y esparcimiento del hidrocarburo en llamas.

Debido a la rapidez con la que el hidrocarburo es impulsado hacia el exterior por el efecto pistón del boilover, se produce una descompresión hasta la presión ambiente que vaporiza parte del combustible, el cual a su vez formará una bola de fuego. El problema fundamental si se quiere cuantificar los efectos de dicha bola es la determinación de la cantidad de hidrocarburo que se vaporiza pasando a formar parte de la bola de fuego. (Casal *et al.*, 2002).

Tanto como si se forma la bola de fuego o no, existe un efecto que con toda seguridad provocará el boilover que es la proyección y esparcimiento de parte o todo el líquido contenido en el recipiente. Esto es debido a la elevada energía cinética suministrada al líquido por el efecto pistón. Las distancias alcanzadas por el líquido proyectado pueden alcanzar otros recipientes agravando las consecuencias iniciales del accidente. (Casal *et al.*, 2002).

En caso de incendio con posibilidad de boilover, una forma de seguir la progresión de la ola de calor consiste en instalar sobre la pared exterior del depósito tiras de pintura intumescente, de manera que la variación de su aspecto indique el aumento de la temperatura en función de la altura. Otra forma, en caso de emergencia, es lanzar agua sobre la pared con una manguera, de forma suave, observando si ebulle o no. A pesar de estas técnicas, la posible aparición de boilover en un momento determinado sigue presentando un elemento de incertidumbre si no se conoce a qué altura se encuentra la capa de agua o de emulsión. (Casal *et al.*, 2002).

Según Casal *et al.*, (2002), Wells, (2003), Zhou *et al.*, (2016), Poljanšek *et al.*, (2017) y HSE, (2018) se puede definir a una explosión como una liberación repentina de energía, que genera una onda de presión que se desplaza alejándose de la fuente mientras va disipando energía. Esta liberación tiene que ser, bastante rápida y concentrada para que la onda que se genera sea audible.

Existen las explosiones generadas en espacios cerrados como son: la ignición de mezclas gaseosas inflamables y la ignición de polvo combustible en suspensión; y las generadas en espacios abiertos como la ignición de nubes de vapor no confinado. Además, la explosión de recipientes de gas comprimido, de gas licuado o líquido sobrecalentado (en inglés BLEVE *boiling liquid expanding vapor explosion*) y reacciones fuera de control (en inglés *runaway reactions*). (Casal *et al.*, 2002).

Para interés de este trabajo, solo se estudian las explosiones generadas en espacios abiertos, que es precisamente, la ignición de nubes de vapor no confinado, y, además, el fenómeno del BLEVE.

Según Casal *et al.*, (2002) y Fabbri *et al.*, (2017) las nubes de vapor no confinadas se generan a raíz del escape de una cantidad determinada de un vapor combustible, o bien de un líquido a partir del cual se formará el vapor. Esto puede ocurrir, tanto en la planta, como en el transporte o rotura de un gaseoducto.

Una vez que se forma la nube, esta puede:

- Dispersarse en el aire antes de que se produzca la ignición, sin causar daños.
- Arder inmediatamente e iniciar así un incendio de charco (en general, en este caso no habrá explosión y los daños ocasionados serán menores).

- Dispersarse en un área extensa y producirse la ignición al cabo de un cierto tiempo, de manera que se formará una gran llamarada.
- Lo mismo que el caso anterior, pero de modo que el frente de la llama se acelera tanto que genera una onda de sobrepresión.

Este tipo de explosiones tiene como efecto, además del alcance de la nube, que la ignición puede producirse en un punto alejado de la fuente de origen del vertido y afectar a grandes áreas. (Casal *et al.*, 2002).

Según Casal *et al.*, (2002), Blengini *et al.*, (2017) y HSE, (2018) las explosiones de tipo BLEVE son uno de los peores accidentes que pueden ocurrir en la industria química o en el transporte de mercancías peligrosas. Esto es un accidente que involucra simultáneamente efectos térmicos y mecánicos.

Según Casal *et al.*, (2002) y ECHA, (2018) si se calienta un recipiente que contiene líquido a presión, por la radiación procedente de un incendio, la presión en su interior irá en aumento. En un momento dado, las paredes no podrán resistir la elevada tensión a la que están sometidos y cederán. Esto sucederá, principalmente, en la parte superior del accidente, donde la pared, al no estar bañada por el líquido, no estará refrigerada, de esta forma, aumentará su temperatura y disminuirá su resistencia mecánica. En cambio, la parte del recipiente situada por debajo del nivel del líquido que contiene transmitirá el calor recibido al líquido, por lo que se calentará mucho menos que la parte superior. En caso de abertura de una válvula de seguridad, la ebullición del líquido implicará una refrigeración aun mayor de esta superficie, debido al calor de vaporización.

La despresurización súbita del líquido hará que este se encuentre a una temperatura superior a la que le correspondería en la curva de saturación P-T para la nueva presión. El líquido que se encuentra en estas condiciones de inestabilidad se define como líquido sobrecalentado. Si su temperatura en el momento de la despresurización es superior a una temperatura denominada límite de sobrecalentamiento, característica de cada producto, se producirá una vaporización instantánea y brutal de parte del mismo, que será vertido al exterior en forma de mezcla bifásica líquido/vapor. El incremento extraordinario de volumen que experimenta un líquido al vaporizarse, que es de unas 1700 veces en el caso del agua y de unas 250 veces en el caso del propano, más la expansión del vapor preexistente, provocarán una onda de presión, así como la rotura del recipiente en varios pedazos que serán lanzados a una distancia considerable. (Casal *et al.*, 2002).

Si la sustancia contenida inicialmente en el recipiente no es combustible, la onda de sobrepresión y la proyección de fragmentos serán los únicos efectos de la explosión. En cambio, si la sustancia contenida en el recipiente es combustible, la masa de líquido y vapor vertida en el momento de la explosión se incendiará, y dará lugar a una hoguera de forma aproximadamente hemisférica que se extenderá inicialmente a ras del suelo. El efecto de la radiación térmica en estos primeros segundos es muy importante. Esta masa de

combustible, solo puede arder en superficie, porque su interior, muy rico en combustible y prácticamente sin aire, se encuentra fuera de los límites de inflamabilidad. (Casal *et al.*, 2002).

La acción de la combinación BLEVE-bola de fuego puede sintetizarse en los efectos siguientes: radiación térmica, onda de sobrepresión, fragmentos despedidos por la explosión y lluvia eventual de combustibles en los alrededores.

Kidam y Hurme, (2013) plantean que los accidentes más frecuentes causados en equipos son los sucedidos en tuberías en un 25%, en reactores y tanques de almacenamiento con un 14%, y los tanques de proceso con un 10%. Los seis equipamientos más propensos a accidentes representan acerca de un 80% de los accidentes totales ocurridos en equipos de procesos, por lo que, a estos equipamientos, hay que prestarles mayor atención. El 78% de los accidentes en equipos son debidos a fallas en el diseño y de técnicas ejecutadas por humanos. Las razones organizacionales y puramente humana son responsables en un 33% de los tanques de almacenamientos, un 18% de las tuberías y un 16% de los equipos de transferencia de calor. Para otros equipos, las causas técnicas son las más comunes de los accidentes.

## Conclusiones

Tanto en la bibliografía clásica como el Manual Práctico del PNUMA (PNUMA, 1999), como en la más reciente de la Comisión de Comunidades Europeas (Blengini *et al.*, 2017), (Gyenes *et al.*, 2017) se plantea que los incendios y explosiones son de los accidentes más frecuentes en la industria, de ahí la importancia de su estudio y evaluación de su impacto. En base a lo analizado en la bibliografía especializada, los escenarios relacionados a incendios y/o explosiones que se deben analizar son: charco de fuego, nube de vapor inflamable, nube de vapor explosiva, BLEVE y el borbollón. Además, se tiene evidencia, de que en los tanques de almacenamiento y en las tuberías ocurren una gran parte de accidentes provocados por incendios y explosiones.



## Bibliografía

ABOUD, ALYAA. *Planning of petrochemical industry under environmental risk and safety considerations*. Waterloo, Ontario, Canadá. 200 p. Tesis en opción al grado de Máster de Ciencias Aplicadas en Ingeniería Química. Universidad de Waterloo. 2008.

API. *In-situ burning. The fate of burned oil*. Regulatory and Scientific Affairs Department. API Publication. Disponible en: <http://www.api.org>. 2016.

BLENGINI, G.A., BLAGOEVA, D., DEWULF, J., TORRES DE MATOS, C., NITA, V., VIDAL-LEGAZ, B., LATUNUSSA, C.E.L., KAYAM, Y., TALENS PEIRÒ, L., BARANZELLI, C., MANFREDI, S., MANCINI, L., NUSS, P., MARMIER, A., ALVES-DIAS, P., PAVEL, C., TZIMAS, E., MATHIEUX, F., PENNINGTON, D. AND CIUPAGEA, C. *Assessment of the Methodology for Establishing the EU List of Critical Raw Materials*, Publications Office of the European Union, Luxemburg. 978-92-79-69612-1, doi:10.2760/73303, JRC106997. 2017.

CASAL, JOAQUÍN; MONTIEL, HELENA; PLANAS, EULALIA; VÍLCHEZ, JUAN. *Análisis del riesgo en instalaciones industriales*. 2da ed. Barcelona: Ediciones UPC. 362 p. 2002.

ECHA. *European Chemicals Agency. Guide on Safety data sheets and exposure scenarios*. [en línea]. [citado 16 mayo 2018]. ISBN: 978-92-9495-699-6. DOI: 10.2823/557928. Disponible en: <http://echa.europa.eu>. 2018.

FABBRI, L BINDA, M BRUINEN DE BRUIN, Y. *Accident Damage Analysis Module (ADAM) – Technical Guidance*, EUR 28732 EN, ISBN 978-92-79-71879-3, doi:10.2760/719457. 2017.

GYENES, ZSUZSANNA; WOOD, MAUREEN; STRUCKL, MICHAEL. *Handbook of Scenarios for Assessing Major Chemical Accident Risks*. EUR 28518 EN. DOI:10.2760/884152. 2017.

HSE. *Annual Science Review*. Helping Great Britain work we. Disponible en: <http://www.hse.gov.uk/horizons/>. 2018.

KIDAM, KAMARIZAN; HURME, MARKKU. *Analysis of equipment failures as contributors to chemical process accidents. Process Safety and Environmental Protection*. [en línea]. Volume 91. Issues 1-2. January-March 2013. Pages 61-78. [citado 6 diciembre 2017]. Disponible en [www.elsevier.com/locate/psep](http://www.elsevier.com/locate/psep). DOI: 10.1016/j.psep.2012.02.001. 2013.



NWABUEZE, DILI. *Liquid hydrocarbon storage tank fires- How prepared is your facility?* *Chemical Engineering Transactions* [en línea]. Vol. 48, p 301-306. [citado 16 mayo 2018]. DOI: 10.3303/CET1648051. Disponible en: [www.aidic.it/cet](http://www.aidic.it/cet). 2016.

PNUMA. *Control de riesgos de accidentes mayores*. Manual práctico. 2da ed. Ginebra: Ediciones de Oficina Internacional de Trabajo. 182 p. 1999.

POLJANŠEK, K., MARIN FERRER, M., DE GROEVE, T., CLARK, I. *Science for disaster risk management 2017: knowing better and losing less*. EUR 28034 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. ISBN 978-92-79-60678-6, doi:10.2788/688605, JRC102482. 2017.

WELLS, GEOFF. *Major Hazards and their management*. Gulf Publishing Company. Houston, Texas. 315 p. 2003.

ZHOU, YI; ZHAO, XIAOGANG; ZHAO JIANYU; CHEN, DU. *Research on fire and explosion accidents of oil depots*. *Chemical Engineering Transactions*. [en línea]. Vol. 51. [citado 7 diciembre 2017]. ISBN: 978-88-95608-43-3. ISSN: 2283-9216. DOI: 10.3303/CET1651028. Disponible en: [www.aidic.it/cet](http://www.aidic.it/cet). 2016.