



JORNADAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA 2020 “50° ANIVERSARIO”

23 Y 24 DE SEPTIEMBRE 2020
UTN FACULTAD REGIONAL SAN FRANCISCO

Jornadas de Ciencia y Tecnología 2020

“50 aniversario”

de la

Universidad Tecnológica Nacional,

Facultad Regional San Francisco

Memoria de Trabajos

Autoridades

Universidad Tecnológica Nacional – República Argentina

Rector: Ing. Héctor Eduardo Aiassa

Vicerector: Ing. Haroldo Tomás Avetta

Facultad Regional San Francisco – UTN

Decano: Ing. Esp. Alberto Toloza

Vice Decano y Director Dpto. Ingeniería en Sistemas de Información: Ing. Esp. Gabriel Cerutti

Subsecretaria General y Coordinadora Ingeniería Industrial: Ing. Carolina Apendino

Secretario Académico: Ing. Juan Calloni

Secretario de Extensión Universitaria y Cultura: Ing. Adrián Pagliano

Secretaria de Ciencia y Tecnología: Dra. Alfonsina E. Andreatta

Secretario Administrativo: Ing. Cesar D. Mina

Secretario de Asuntos Estudiantiles: Ing. Paulo Gianoglio

Subsecretario de Vinculación Tecnológica: Ing. Javier Saldarini

Subsecretario de Posgrado: Mag. Oscar Rete

Subsecretaria de Planeamiento Académico: Lic. Vanina Fraire

Subsecretario de Tec. de la Comunicación y la Información: Ing. Sergio Felissia

Directora de Recursos Humanos: Tca. María Angélica Navarro

Directora Académica: Tca. Analía Armando

Directora Administrativa: Lic. Patricia Marchetti

Director de mantenimiento y servicios generales: Tco. Froilán Juan Gimenez

Director Dpto. Ingeniería Electromecánica: Ing. Ernesto Galiano

Director Dpto. Ingeniería Electrónica: Mag. Gastón C. Peretti

Directora Dpto. Ingeniería Química: Ing. Paula Garneró

Director Dpto. Licenciatura en Administración Rural: Cdor. Daniel Roberto Ricci

Director Dpto. de Materias Básicas: Ing. Gustavo Yoaquino

Organiza:



MIEMBROS DEL COMITÉ ORGANIZADOR

Alfonsina Ester Andreatta

Claudia del Valle Mercol

Jessica Pamela Pettiti

Carina Beatriz Fernández

MIEMBROS DEL COMITÉ ACADÉMICO O CIENTÍFICO

Ing. Eduardo Galiano

Ing. Paula Garnero

Ing. Gustavo Yoaquino

Mg. Gastón Peretti

Cr. Daniel Ricci

Ing. Gabriel Cerutti

Dr. Diego Martín Ferreyra

Ing. Walter Tonini

Dra. Verónica Nicolau

Dra. María Eugenia Taverna

Ing. Raúl Marlatto

Ing. Matías Raspo

Ing. Emanuel Bernardi

Dr. Javier Redolfi

Mg. Juan Carlos Calloni

Ing. Javier Vignolo

Cra. Maricel Rovasio

Ing. Carolina Apendino

Ing. Stella Baravalle

Ing. Diego Cocconi

Dra. Alfonsina Ester Andreatta

Ing. Guillermo Velazquez

Jornadas de Ciencia y Tecnología 2020

“50 aniversario”

de la

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad
Regional San Francisco

Memoria de Trabajos

Alfonsina Ester Andreatta, Jessica Pamela Pettiti, Claudia del Valle Mercol,
Carina Beatriz Fernández
(Compiladoras)

San Francisco, Córdoba - Argentina, Septiembre de 2020

Jornadas de Ciencia y Tecnología 2020 50 aniversario de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco: 23 y 24 de Septiembre de 2020 / A.E. Andreatta, J.P. Pettiti, C.dV. Mercol, C.B. Fernández; compilado por A.E. Andreatta, J.P. Pettiti, C.dV. Mercol, C.B. Fernández.- 1a ed.- Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional San Francisco, 2020.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-950-42-0201-1

1. Ingeniería. 2. Ciencias Tecnológicas. I. A.E. Andreatta, J.P. Pettiti, C.dV. Mercol, C.B. Fernández, comp.
CDD 607.3

Jornadas de Ciencia y Tecnología 2020 “50 aniversario” de la Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional San Francisco
23 y 24 de Septiembre de 2020

Memorias de trabajo

Diseño de Tapa: María Laura Vaudagna

ISBN 978-950-42-0201-1



EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS TÉRMICOS OCASIONADOS POR UNA BOLA DE FUEGO DE PROPANO. OBTENCIÓN DE UNA CORRELACIÓN SIMPLE PARA ESTIMAR DISTANCIAS EN PLANES DE EVACUACIÓN.

R. A. Kraft^{*(1)}; P. L. Mores⁽¹⁾; N. J. Scenna⁽¹⁾

⁽¹⁾ CAIMI Centro de Aplicaciones Informáticas y Modelado en Ingeniería, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario, Zeballos 1346, S2000BQA Rosario, Argentina.

*romina.kraft@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

El propano, es una sustancia que frecuentemente se encuentra en el inventario de numerosas industrias por ser el combustible alternativo más utilizado a nivel internacional. A temperatura ambiente, es un gas incoloro e inodoro, fácilmente licuable por lo que en general se almacena/transporta en estado líquido a esta temperatura en recipientes a presión.

La explosión tipo BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) seguida de la ocurrencia de una bola de fuego, tiene efectos devastadores sobre las personas (muerte, daños irreversibles) como así también sobre las estructuras y las instalaciones industriales, en función de la distancia del suceso a la que se encuentren dichos receptores. De acuerdo al análisis de accidentes históricos reportado por Hemmatian et al. (2019), el propano es una de las sustancias típicas involucradas en este tipo de eventos.

En la mayoría de los casos, los efectos térmicos ocasionados por la bola de fuego tienen consecuencias más severas sobre las personas que aquellos asociados con la onda expansiva generada por la explosión (Birk et al., 2013). A causa de esto, es imperante establecer planes de evacuación eficaces, delimitando las zonas de planificación en función de la dosis de radiación recibida, relacionando la intensidad de radiación incidente con tiempos máximos de exposición y contemplando modelos de respuesta de la población ante la génesis de incendios.

El objetivo de este trabajo es obtener una correlación simple y eficaz que relacione distancias seguras con variables operativas/ de diseño y niveles de vulnerabilidad de los receptores, basándose en el análisis de un modelo de referencia (MR_f): modelo de llama sólida.

MÉTODOS

Para la propuesta de una correlación simple se parte de la parametrización de variables operativas de interés: volumen de recipiente ($V_{Ri}=5, 40, 135, 320, 625, 1080, 1715, 2560 \text{ m}^3$); nivel del líquido en el reservorio ($F_{Lj}=0.25, 0.40, 0.55, 0.70, 0.85$), presión de falla ($P_{rk}=1.25,$

1.50, 1.75, 2 MPa) y el nivel de vulnerabilidad medido como flujo de radiación térmica incidente ($q_{rp}=3, 5, 7 \text{ kW/m}^2$). Los subíndices corresponden a un intervalo particular de la parametrización efectuada teniendo en consideración los escenarios habituales de este evento de acuerdo a datos de accidentes históricos como así también de series de experimentos o planteos de casos hipotéticos realistas.

Implementación del Modelo de Referencia

El modelo de llama sólida (MR_f), un modelo ampliamente aceptado en la literatura especializada (CCPS, 2010; Casal, 2008; TNO 2005) consiste en la selección de un cuerpo geométrico que abarque todo el volumen visible de las llamas, en este caso una esfera, representada como un cuerpo gris inmóvil que emite radiación térmica uniformemente desde su superficie.

La intensidad de radiación térmica, q_{rp} , a la que se expone el receptor es:

$$q_{rp} = E_{pw_{i,j,k}} \cdot F_{v_{i,j,k,p}} \cdot \tau_{i,j,k,p} \quad (1)$$

representando E_{pw} , el poder emisivo, F_v el factor de visión y τ la transmisividad atmosférica, que se estiman de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$E_{pw_{i,j,k}} = \frac{0,27 \cdot P_{rk}^{0,32} \cdot m_{T_{i,j,k}} \cdot H_C}{\pi \cdot D_{FB_{i,j,k}}^2 \cdot t_{FB_{i,j,k}}} \quad (2)$$

$$F_{v_{i,j,k,p}} = \frac{0,25 \cdot D_{FB_{i,j,k}}^2}{H_{FB_{i,j,k}}^2 + D_{s_{i,j,k,p}}^2} \quad (3)$$

$$\tau_{i,j,k,p} = 2,02 \cdot \left[P_w \left(\sqrt{H_{FB_{i,j,k}}^2 + D_{s_{i,j,k,p}}^2} - 0,5D_{FB_{i,j,k}} \right) \right]^{0,09} \quad (4)$$

siendo m_T la masa total en el recipiente que se obtiene en función de su volumen y el nivel de líquido, ΔH_c el calor normal de combustión del propano, D_s es la distancia a la que debe estar el receptor de acuerdo al flujo de radiación incidente especificado, P_w la presión de vapor de agua que

depende de la humedad relativa y la temperatura ambiente, que se asumen iguales a 50% y 293.15 K por corresponder a la peor condición dentro de los escenarios más frecuentes.

Por otro lado, D_{FB} , t_{FB} y H_{FB} representan las características de la bola de fuego: diámetro, tiempo de deflagración y elevación sobre el suelo respectivamente:

$$D_{FB_{i,j,k}} = 6,14 \cdot m_{r_{i,j,k}}^{0,325} \quad (5)$$

$$t_{FB_{i,j,k}} = 0,41 \cdot m_{r_{i,j,k}}^{0,340} \quad (6)$$

$$H_{FB_{i,j,k}} = 0,75 \cdot D_{FB_{i,j,k}} \quad (7)$$

El MR_f , que no presenta grados de libertad, se implementa en GAMS (General Algebraic Modeling System) y se resuelve en modo simulación.

Análisis de la influencia de las variables de interés

De acuerdo a la parametrización efectuada, se evalúan 160 puntos para cada nivel de vulnerabilidad, es decir la simulación da como resultado un total de 480 valores de distancia.

Se analiza la influencia de cada una de las variables consideradas dentro del rango contemplado, observándose una relación lineal entre la presión de falla y la distancia calculada, mientras que para el volumen de recipiente y el nivel de líquido se tiene una relación potencial. A partir de estas relaciones funcionales, se propone una única correlación, representativa del fenómeno, para la estimación de distancias seguras.

Propuesta de correlación simple

A partir del análisis previo se propone una correlación simple (Ec. 8), se implementa en GAMS junto con el MR_f y se minimiza el error la raíz cuadrada de la sumatoria de los cuadrados de los errores relativos entre los valores calculados por el MR_f y los obtenidos por la Ec. 8 con el objeto de determinar a_1 , a_{2p} , a_3 y a_4 (variables de optimización).

$$D_{a_{i,j,k,p}} = (a_1 \cdot P_{r_k} + a_{2p}) \cdot F_{L_j}^{a_3} \cdot V_{R_i}^{a_4} \quad (8)$$

Se asume que la distancia estimada debe ser mayor o igual a la obtenida por MR_f . A su vez, se calcula el coeficiente de determinación como parámetro adicional de evaluación de la bondad del ajuste.

RESULTADOS

La función objetivo adopta un valor óptimo igual a 0.009 y el coeficiente de determinación (R^2) de la función propuesta es igual a 1. Los valores de los parámetros se presentan en la Tabla 1.

Se aplica la correlación desarrollada en este trabajo para el caso de un accidente de tránsito que involucra un camión cisterna de propano de 64 m³ de capacidad con un

nivel de líquido de 81%, cuya explosión BLEVE seguida de una bola de fuego ocurre cuando el recipiente falla a 2 MPa (Hemmatian et al., 2017). Los resultados se presentan en la Tabla 2. Las distancias calculadas para distintos niveles de flujo radiante delimitan curvas de iso-radiación, pudiéndose identificar de esta forma las zonas de intervención y de alerta de acuerdo a un modelo de respuesta de la población ante incendios. Para todos los casos, se observa un buen ajuste de la correlación, siendo la máxima sobreestimación de 1,6%.

Cada nivel de flujo radiante se encuentra asociado a un tiempo de exposición, en función de las dosis que definen a las zonas de planificación de acuerdo a la Directriz básica de protección civil (BOE-A-2003-18682).

Tabla 1. Variables de optimización

| a_1 | a_{2_3kW/m^2} | a_{2_5kW/m^2} | a_{2_7kW/m^2} | a_3 | a_4 |
|--------|------------------|------------------|------------------|-------|-------|
| 15.735 | 168.152 | 124.257 | 101.211 | 0.290 | 0.315 |

Tabla 2. Distancias que delimitan las zonas de planificación de acuerdo al tiempo de exposición

| Flujo de radiación (kW/m ²) | Distancia (m) | | Tiempo de exposición (s) | |
|---|---------------|-------|--------------------------|----------------|
| | MR_f | Ec. 8 | Zona de Intervención | Zona de Alerta |
| 3 | 694.7 | 696.0 | 60 | 30 |
| 5 | 539.3 | 543.0 | 30 | 15 |
| 7 | 455.0 | 462.6 | 20 | 10 |

CONCLUSIONES

La correlación obtenida presenta un buen ajuste, siendo ventajoso su empleo debido a su simplicidad, pudiéndose utilizar para delimitar zonas de planificación.

REFERENCIAS

- Birk, A.M., Dusserre, G., Heymes, F. "Analysis of a propane sphere BLEVE", *Chem. Eng. Trans. France*, **31**, 481–486 (2013).
- Casal, J., Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants, 1st ed. Elsevier, Spain (2008).
- CCPS, Guidelines for Vapor Cloud Explosion, Pressure Vessel Burst, BLEVE and Flash Fire Hazards, 2nd ed. Wiley- AICHE, New York (2010).
- Directriz Básica de Protección Civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas, BOE-A-2003-18682.
- Hemmatian, B., Casal, J., Planas, E., "Essential Points in the Emergency Management in Transport Accidents which Can Lead to a BLEVE-Fireball", *Chem. Eng. Trans. Spain*, **57**, 439–444 (2017).
- Hemmatian, B., Casal, J., Planas, E., Rashtchian, D. "BLEVE: The case of water and a historical survey", *J. Loss Prev. Process Ind.* **57**, 231–238 (2019).
- TNO, Methods for the Calculation of Physical Effects (yellow Book), 3rd ed, The Hague (2005).