

## VALORACIÓN DE LOS CRITERIOS PARA LA SEPARACIÓN DE ACTIVOS POR EFECTO DE INCENDIOS EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS

Davis Pérez<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> PDVSA Intevep, Gerencia de Materiales y Confiabilidad

[\\*perezdgx@pdvsa.com](mailto:*perezdgx@pdvsa.com) / [davisgpr@gmail.com](mailto:davisgpr@gmail.com)

### RESUMEN

Uno de los parámetros a considerar para la distribución de edificaciones, equipos y tuberías como parte del diseño de plantas industriales, particularmente petroleras, es el referente a la protección contra incendios y estimación de consecuencias. Puesto que la ocurrencia de incendios en tanques de almacenamiento conlleva graves pérdidas económicas, en términos de daños a la propiedad, interrupción de negocios, daños al medio ambiente y de imagen pública, es meritorio realizar estudios que permitan conocer el alcance que estos pueden tener. Dado que la radiación es el principal mecanismo de transferencia de calor de un incendio respecto al espacio circundante, es necesario estimar la ocurrencia y el tiempo requerido para que un objeto remoto sea afectado. Este fenómeno ha sido identificado en la literatura con el nombre de “*pool fire*” o “*piscina incendiada*”, en donde se han desarrollado diversos métodos que lo modelan, tales como Punto Fuente, Mudan y Shokri & Beyler, entre otros. Estos permiten cuantificar el flujo de calor radiante que recibe un activo ubicado en el entorno a un incendio. El presente artículo describe los trabajos experimentales de incendios en piscinas realizados en PDVSA Intevep, a escalas de laboratorio. Para ello se consideró una piscina del tipo estática-confinada, con Gasolina de 91 octanos como combustible en una bandeja metálica de 0,58 metros de diámetro. Los valores de intensidad de radiación generada por los incendios fueron tomados experimentalmente a la altura de la base de la llama, en un rango de separación desde dos veces hasta seis veces el diámetro de la piscina. Luego, se evaluó el desempeño de los modelos, comparando su capacidad de predicción; lo que permitió identificar que en promedio el modelo de Mudan ofrece las mejores predicciones respecto a los resultados experimentales de intensidad de radiación. Finalmente con los resultados obtenidos se evaluó la precisión de normas Nacionales e Internacionales en materia de separación de tanques por efecto de incendio, siendo en general la norma COVENIN 2239 y PDVSA IR-M-01 las más precisas, pero sin descartar las recomendaciones dadas por las normas NFPA 30 y NIST 6546, debido a que están basadas en eventos de incendios reales en tanques de mayores dimensiones y con escenarios no contemplados en esta investigación.

*Palabras Clave: Incendios, Radiación, Tanques, NFPA, PDVSA, NIST, Piscinas, Mudan, Shokri.*

### ABSTRACT

One of the parameters to consider for the distribution of buildings, equipment and pipes as a part of the design of industrial plants, particularly oil facilities, is related to fire protection and estimation of consequences. Since fire occurrences in storage tanks leads to serious economic

losses, in terms of property damage, business interruption, damage to the environment and public image, it is relevant to conduct studies that allow assessing the impact that these may have. Since radiation is the main mechanism of heat transfer with respect to the surrounding space, it is necessary to estimate the occurrence and time required for a remote object to be affected. This phenomenon has been identified in the literature with the name of "pool fire", and various methods have been developed to model it, such as Point Source, Mudan and Shokri & Beyler, among others. These allow quantifying the radiant heat flow received by an asset located in the surroundings of a fire. This article describes the experimental works on pool fires made in PDVSA Intevep, at laboratory scales. For this purpose, a static-confined pool was considered, with 91 octane gasoline as fuel in a metal tray of 0.58 meters in diameter. Radiation intensity values generated by the fires were taken experimentally at the base of the flame, in a separation range from twice to six times the diameter of the pool. Then, performance of the models was evaluated, comparing their predictive capacity; identifying that, on average, the Mudan model offers the best predictions regarding the experimental results of radiation intensity. Finally, with the results obtained, the accuracy of National and International regulations for tank separation due to fire was evaluated, being in general the COVENIN 2239 and PDVSA IR-M-01 standards the most precise, but without discarding the recommendations given by NFPA 30 and NIST 6546 standards, due to the fact that they are based on real fire events on larger tanks and with scenarios not included in this investigation.

*Keywords: Fires, Radiation, Tanks, NFPA, PDVSA, NIST, Pool, Mudan, Shokri.*

## INTRODUCCIÓN

La protección contra incendios como disciplina de la ingeniería busca descubrir y comprender el comportamiento de un incendio aplicando la ciencia y la tecnología para garantizar el resguardo de instalaciones de cualquier índole. Si se utiliza el enfoque de esta rama del saber para minimizar el riesgo de escalamiento y/o afectación a terceros por efectos de un incendio, se llega a la necesidad de revalorar lo expuesto por las distintas normas y códigos existentes para esta materia, ya que se ha reconocido que cada uno de éstos presentan distintas recomendaciones de espaciamiento entre tanques, debido esencialmente porque están basados en la experiencia, en lugar de un juicio de ingeniería propiamente dicho.

Para efectuar un estudio congruente de separación entre elementos se debe considerar la radiación térmica, principal mecanismo de propagación de las llamas en un incendio. En efecto, diversos autores han desarrollado modelos matemáticos que tienen la capacidad de predecir la intensidad de radiación por unidad de superficie en el espacio circundante de un elemento en ignición. Los modelos matemáticos varían en complejidad al poseer distintas suposiciones acerca del fuego, por lo que es imperativo evaluar su desempeño y sus limitaciones por medio de pruebas experimentales que conduzcan a la recolección de datos reales y significativos. En la presente investigación se requirió de un tanque de almacenamiento a tamaño escala ( $\varnothing=0,58\text{m}$ ), así como la disposición de la instrumentación necesaria para la adquisición de los datos al momento de realizar los ensayos en las instalaciones de PDVSA INTEVEP S.A.

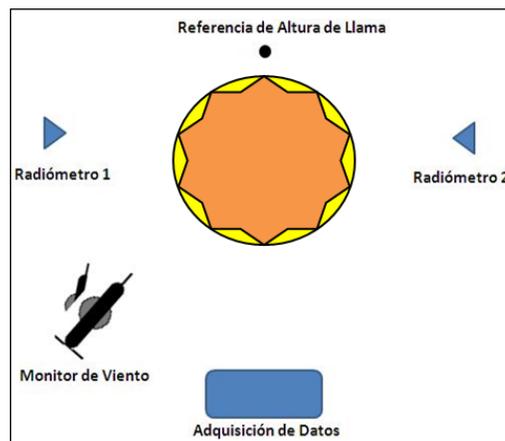
Los resultados ayudaron a identificar mejoras en el diseño e inspección de instalaciones, además de dar orientaciones técnicas para un mejor abordaje en la respuesta de la lucha contra incendios.

## METODOLOGÍA

La separación mínima requerida entre activos por efecto de incendios en tanques de almacenamiento de hidrocarburos, es definida como la relación  $L/D$ , donde  $L$  es la distancia horizontal desde el centro de la piscina al receptor (persona, estructura) y  $D$  es el diámetro del tanque referencial. Para definir esto, se tienen tres modelos teóricos reportados en la literatura, cuyos resultados fueron comparados con un análisis experimental a fin de seleccionar el más adecuado para la industria petrolera. Para ello, se diseñó un montaje experimental y se llevaron a cabo pruebas que arrojaron criterios técnicos para la selección de uno de estos modelos.

### Montaje experimental y selección de materiales y equipos:

Para llevar a cabo las pruebas experimentales se diseñó una disposición de tal manera que no se interrumpa el funcionamiento de los equipos ni su acceso, considerando la movilidad del personal en las pruebas realizadas (ver Figura 1).



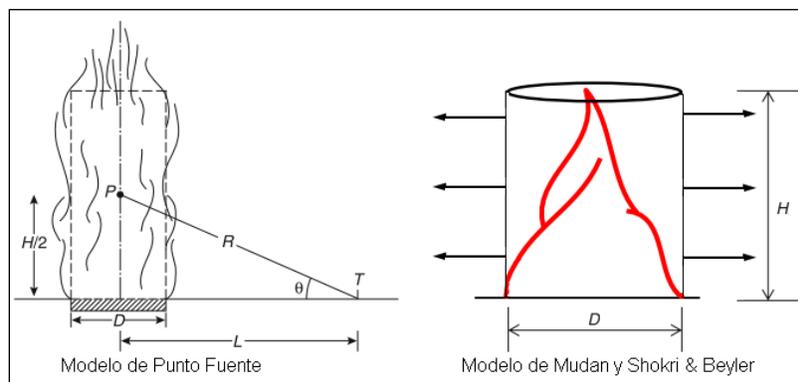
**Figura 1.** Representación esquemática sin escala del montaje experimental. Fuente: Propia

El tamaño de la piscina fue seleccionado bajo tres acotaciones técnicas [1] primero que los niveles de riesgo sean considerables por lo que el tamaño está relacionado directamente, segundo que las llamas sean de naturaleza turbulenta y tercero que el fenómeno de transferencia de calor sea dado ampliamente por radiación; este criterio lo cumple cabalmente piscinas mayores a 50 cm. El combustible utilizado para la generación de los incendios fue gasolina de 91 octanos, ya que en diversas instalaciones su almacenamiento y uso es muy común, por lo que representa un riesgo similar para gran variedad de entornos. Para la medición del flujo de calor se utilizaron dos radiómetros cuyo rango de operación es de  $0 \text{ kW/m}^2$  a  $45 \text{ kW/m}^2$  respectivamente. Las distancias correspondientes a la ubicación de los radiómetros se seleccionaron con respecto al diámetro “ $D$ ” de la piscina siendo estas separaciones  $2D$ ,  $3D$ ,  $4D$ ,  $5D$  y  $6D$ . Para la monitorización de la dirección y velocidad del viento, fue utilizado un monitor de viento de tipo hélice, donde su rango de medición es de  $0 \text{ m/s}$  a  $100 \text{ m/s}$ , este fue colocado a una altura de  $1,6 \text{ m}$  y a una distancia de 10 veces el diámetro de la piscina con la finalidad de que no sea afectado por los efectos del fuego. Para las mediciones del tamaño de llama, se utilizó una cámara digital en conjunto con un patrón de comparación de 3 metros de altura colocado junto a la llama, graduado a partir del borde superior

de los tanques para obtener una medida desde la base de la llama. Se utilizó un medidor multi-parámetros para el seguimiento de las condiciones de temperatura, presión y humedad atmosférica. Todas las mediciones fueron registradas utilizando un sistema de adquisición de datos conectado a una computadora portátil, donde se programó la interfaz necesaria para visualizar, procesar y guardar los datos provenientes de todos los instrumentos simultáneamente en intervalos de 1 segundo.

### Modelos para estimar el espaciado seguro entre tanques

Los siguientes modelos son generalmente utilizados para la estimación de consecuencias por efectos de un incendio, no obstante los mismos tienen distintas suposiciones acerca de la manera en que el fuego emite la radiación térmica. El modelo de Punto Fuente supone que la llama puede ser representada por una fuente puntual que irradia energía en todas las direcciones, dicho punto está en el centro geométrico del fuego [2], mientras que los Modelos de Mudan y Shokri & Beyler son conocidos como modelos de llama sólida, ya que suponen que la llama es un cilindro con diámetro ( $D$ ) igual al diámetro de base del fuego y longitud axial ( $H$ ) igual a la longitud de la llama [3], donde las superficies del cilindro emiten la radiación térmica (ver Figura 2).



**Figura 2.** Esquematación de los Modelos. Fuente: Propia

### 1. Modelo de Punto Fuente

Este modelo supone que el fuego puede ser representado por un punto que irradia energía térmica en todas las direcciones, dicho punto se encuentra generalmente en el centro geométrico del fuego. La energía radiada  $\dot{q}''$  ( $\text{kW/m}^2$ ), es una fracción de la energía total liberada por la combustión ( $\dot{Q}_r$ ) que varía proporcionalmente con el cuadrado inverso de la distancia desde la fuente al receptor ( $R$ ), la cual está dada por la ecuación:

$$\dot{q}'' = \frac{\dot{Q}_r \cos\theta}{4\pi R^2} \quad (1)$$

Donde  $\theta$  es el ángulo de incidencia en grados ( $^\circ$ ) del receptor respecto al punto fuente.

Por otra parte, la intensidad de radiación ( $\dot{Q}_r$ ) es el producto de la fracción total de radiación ( $\chi_r$ ) y la tasa de liberación de calor ( $\dot{Q}$ ) del combustible:

$$\dot{Q}_r = \chi_r \dot{Q} \quad (2)$$

La fracción total de radiación es la porción de la tasa de liberación de calor que se pierde en el entorno por la propagación de la radiación [4], este valor es dependiente del diámetro ( $D$ ) según la expresión empírica [5]:

$$\chi_r = 0,21 - 0,0034D \quad (3)$$

La tasa de liberación de calor ( $\dot{Q}$ ) es una expresión dependiente de la variación del área superficial de la piscina ( $A$ ), del calor de combustión específico del combustible ( $\Delta h_c$ ) y de la tasa de quemado de combustible ( $\dot{m}''$ ):

$$\dot{Q} = \dot{m}'' \Delta h_c A \quad (4)$$

Babrauskas [6] propuso la siguiente formulación para el cálculo de la tasa de quemado  $\dot{m}''$  (kg/seg.m<sup>2</sup>):

$$\dot{m}'' = \dot{m}''_{\infty} (1 - e^{-k\beta D}) \quad (5)$$

La altura de la llama  $H$  (m) se calcula mediante la correlación de Heskestad [7]:

$$H = 0,235 \dot{Q}^{2/5} - 1,02D \quad (6)$$

Por otra parte, la distancia desde el punto fuente hasta el objetivo que recibe la energía térmica se puede calcular mediante el teorema de Pitágoras:

$$R = \sqrt{L^2 + H^2} \quad (7)$$

Donde  $L$  es la distancia horizontal desde el punto fuente al receptor. Asimismo, el ángulo de incidencia del receptor respecto al punto fuente se puede calcular utilizando relaciones trigonométricas:

$$\cos\theta = \frac{L}{R} \quad (8)$$

## 2. Modelo de Shokri & Beyler

Estos autores [8] correlacionaron datos experimentales en términos de una potencia emisiva efectiva promedio de la llama ( $E$ ) con el factor de vista ( $F_{12}$ ) para estimar la intensidad de radiación térmica, queda presentada por la ecuación (9):

$$q'' = EF_{12} \quad (9)$$

La ecuación (10) permite calcular el poder emisivo efectivo de la llama:

$$E = 58(10^{-0,00823D}) \quad (10)$$

El factor de vista (adimensional) es función de la localización del objetivo, la altura de la llama y el diámetro, el cual varía entre cero y uno, éste es calculado por componentes horizontales  $F_{12,H}$  y verticales  $F_{12,V}$  (ver ecuaciones 11 y 12).

$$F_{12,H} = \frac{(B - \frac{1}{S})}{\pi\sqrt{B^2 - 1}} \tan^{-1} \frac{\sqrt{(B+1)(S-1)}}{\sqrt{(B-1)(S+1)}} - \frac{(A - \frac{1}{S})}{\pi\sqrt{A^2 - 1}} \tan^{-1} \frac{\sqrt{(A+1)(S-1)}}{\sqrt{(A-1)(S+1)}} \quad (11)$$

$$F_{12,V} = \frac{1}{\pi S} \tan^{-1} \left( \frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}} \right) - \frac{h}{\pi S} \tan^{-1} \frac{\sqrt{(S-1)}}{\sqrt{(S+1)}} + \frac{Ah}{\pi S\sqrt{A^2 - 1}} \tan^{-1} \frac{\sqrt{(A+1)(S-1)}}{\sqrt{(A-1)(S+1)}} \quad (12)$$

Dónde:

$$A = \frac{h^2 + S^2 + 1}{2S}, \quad B = \frac{1 + S^2}{2S}$$

$$S = \frac{2L}{D}, \quad h = \frac{2H}{D}$$

El factor de vista máximo  $F_{12,max}$  entre el receptor y la llama, viene dada por la suma vectorial de los factores de vista horizontal y vertical:

$$F_{12,max} = \sqrt{F_{12,H}^2 + F_{12,V}^2} \quad (13)$$

### 3. Modelo de Mudan

Éste método posee la particularidad que la intensidad de radiación se ve afectada por la transmisibilidad del medio ( $\tau$ ) en el cual se propaga la radiación térmica:

$$\dot{q}'' = EF_{12}\tau \quad (14)$$

La altura de la llama para este método es diferente de los métodos anteriores, ya que utiliza la ecuación de Thomas [9] que es expresada en la ecuación (15):

$$\frac{H}{D} = 42 \left( \frac{\dot{m}''}{\rho_a \sqrt{gD}} \right)^{0,61} \quad (15)$$

Donde " $\rho_a$ " es la densidad del aire ( $\text{kg/m}^3$ ) y " $g$ " es la aceleración de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ ).

El autor del método propone la ecuación (16) para el cálculo del poder emisor de la piscina incendiada:

$$E = E_{max}e^{-sD} + E_s[1 - e^{-sD}] \quad (16)$$

Donde  $E_{max}$  es el poder emisor de cuerpo negro equivalente, valorado por el modelo en 140  $\text{kW/m}^2$ . En tanto  $s$  es el coeficiente de extinción ( $\text{m}^{-1}$ ) y  $E_s$  es el poder emisor del humo, valorado por el modelo en 20  $\text{kW/m}^2$ .

Para el cálculo de la transmisibilidad Cook et al., [10] propuso la siguiente ecuación:

$$\tau = 2,02 \times (P_{sa} \times R \times D)^{-0,09} \quad (17)$$

Dónde  $P_{sa}$  es la presión parcial de vapor de aire saturado ( $\text{N.m}^{-2}$ ) y  $R$  es la distancia entre la llama y el receptor (m). En tanto la presión de vapor de aire saturado puede ser calculada utilizando la siguiente correlación:

$$P_{sa} = P_{atm} \frac{RH}{100} \exp \left( 14,4114 - \frac{5328}{T_a} \right) \quad (18)$$

Donde  $P_{atm}$  es la presión atmosférica ( $\text{N.m}^2$ ),  $T_a$  es la temperatura del ambiente (K) y  $RH$  es la humedad relativa (adimensional).

### Criterios de Separación indicados por Normativas en caso de Piscinas Incendiadas

Los códigos y normas existentes han demostrado ser eficaces en la protección contra incendios de tanques de almacenamiento atmosférico, sin embargo la Tabla 1 permite apreciar que entre ellas existen variaciones en los criterios de separación; esto se debe a que los códigos de ingeniería relacionados con el espaciamiento de los tanques y la protección contra incendios de los tanques se basan en la experiencia, en lugar de un juicio de ingeniería real. De igual forma unas son menos conservadoras que otras como es el caso de la norma NFPA 30 [11] que dicta únicamente

recomendaciones de separación entre tanques, mientras que las distancias dadas por la NIST 6546 [12] son mediante cálculo o con el método gráfico indicado en esta; en cambio, las normas COVENIN 2239-1 [13] y las PDVSA IR-M-01 [14] e IR-S-19 [15] condicionan las distancias mínimas de separación a los efectos de exposición a radiación térmica, que a su vez son distintas tanto para personas como para estructuras; las cuales están fundamentadas por la Guía Técnica del Centro de Seguridad de Procesos Químicos [16] (CCPS, por sus siglas en inglés “Center for Chemical Process Safety”).

**Tabla 1.** Criterios de Separación indicados por Normativas en caso de Piscinas Incendiadas

Normativa	Criterio General	Radiación	
		Personas	Estructuras
COVENIN	1D	1,39 kW/m <sup>2</sup>	12,62 kW/m <sup>2</sup>
PDVSA	1,5D	1,6 kW/m <sup>2</sup>	8 kW/m <sup>2</sup>
NFPA	1D	1D	1D
NIST	Método Gráfico	3,5D*	1D*

\*Para tanques de diámetro menor o igual a 10m

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Un total de 6 pruebas experimentales fueron realizadas, utilizando una bandeja de 0,58 m de diámetro, cuyos resultados para la intensidad de radiación (kW/m<sup>2</sup>) son mostrados en la Tabla 2 conjuntamente con los calculados de los tres métodos previamente mencionados:

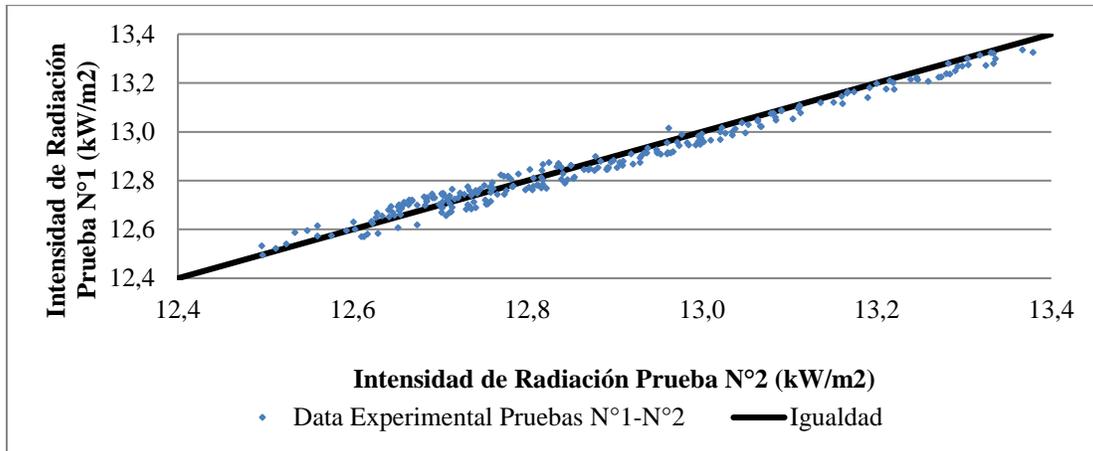
**Tabla 2.** Resultados Experimentales y Calculados mediante los Modelos

Nº	Distancias de Separación "L/D"	Experimental	Punto Fuente	Shokri & Beyler	Mudan
1	2D	12,475	3,033	6,081	13,331
2	2D	12,572	3,033	6,081	13,331
3	3D	9,322	1,804	3,865	7,953
4	3D	5,854	1,151	2,645	5,182
5	4D	3,081	0,786	1,904	3,596
6	5D	2,374	0,566	1,427	2,619

Con base en lo reflejado en la Tabla 2 se extrae principalmente que mayormente los modelos teóricos de Punto Fuente y Shokri & Beyler sub-estimaron los valores de intensidad de radiación experimentados en la realidad, en un 85% y 49% de desviación, respectivamente; en cambio, el Modelo de Mudan para las características consideradas es el que más se ajusta ya que se evidencia que sólo tiene un 12% de desviación.

Las variaciones siempre se producirán debido a una serie de factores tales como el comportamiento dinámico del fuego y las diferentes condiciones ambientales, la media de los datos a lo largo del tiempo suavizará estas variaciones; para validar esto, las pruebas 1 y 2 reflejadas en la Tabla 2, corresponden a un escenario similar en cuanto a separación, donde la siguiente figura confirma la acotación previa y consecuentemente la consistencia en los resultados, entendiéndose que mientras

más cerca se esté de la línea de igualdad los resultados experimentales son muy parecidos entre ambas pruebas.



**Figura 3.** Consistencia de los resultados experimentales

### Comparación con Normativas de Interés

Con base a lo planteado y como base los ensayos experimentales para la comparación, se presenta a continuación las distancias recomendables de separación de acuerdo a las normativas nombradas:

**Tabla 3.** Distancias de Separación indicados por Normativas tomando como Parámetro los Ensayos Experimentales

Normativa	Separación
COVENIN	2D
PDVSA	2D
NFPA	1D
NIST	1D

Tal como se observa las recomendaciones dadas por la norma NFPA 30 y NIST 6546, implican que bajo las condiciones estudiadas se enfrente el riesgo de que en un incendio ocurra un escalamiento o afectación a estructuras y personas por efectos de la radiación térmica, todo esto de acuerdo a lo expresado por la CCPS; por ende estos resultados sugieren que la separación debe ser aumentada a un diámetro o más para reducir los efectos de transferencia de calor; por otro lado las Normas COVENIN y PDVSA al establecer condicionales de separación permite cubrir en mayor rango dicho riesgo por lo que son bastante conservadoras en tales circunstancias.

## CONCLUSIONES

La intensidad de radiación disminuye a medida que aumenta la distancia entre la piscina y un elemento adyacente.

De los tres modelos teóricos (Punto Fuente, el de Mudan y el de Shokri & Beyler) ampliamente utilizados en la industria para la estimación de consecuencia por efectos de radiación térmica; el

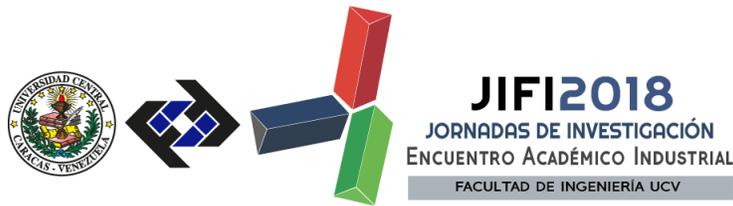
Modelo de Mudan fue el más preciso en la estimación de radiación térmica dentro del espectro estudiado.

Se constató que los criterios establecidos por las normativas en materia de protección contra incendios son variadas, no obstante las indicaciones dadas en las normas COVENIN 2239-1 y PDVSA IR-M-01 e IR-S-19 son satisfactorias en cuanto a su aproximación con los resultados obtenidos, contrariamente los resultados experimentales no estuvieron acordes con lo expuesto por la NFPA 30 y la NIST 6546, sin embargo, ya que las mismas han sido ampliamente aceptadas en el ámbito industrial porque lo indicado en éstas han resultado exitosos, no se pueden descartar para una evaluación expedita.

Finalmente para que se origine una condición de escalamiento de un tanque a otro es necesario que los parámetros considerados en el presente artículo se conjuguen, tales como, tamaño y tipo de diseño del tanque, separación entre estos, inflamabilidad del líquido almacenado, dispositivos de protección contra incendio y de las condiciones ambientales.

## REFERENCIAS

- [1] Pérez, D. (2017), Tesis de Maestría: *Estudio Experimental de los Efectos Térmicos producidos por la Variación de la Apertura del Techo en Piscinas Incendiadas que contienen Líquidos Refinados del Petróleo*. Universidad Nacional Experimental “Antonio José De Sucre”
- [2] Casal, J. (2008). *Industrial Safety Series: Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants*, First ed., vol. 8, Elsevier, p. 363.
- [3] Mudan, K. S. (1984). *Progress Energy Combustion Science*, vol. 10, pp. 59-80.
- [4] Nahid, M. N. H. (2015), *Computational Study of Highway Bridges Structural Response Exposed to a Large Exposure*.
- [5] Beyler, C. L. (2016), *Fire Hazard Calculations for Large, Open Hydrocarbon Fires*, in SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth ed., New York, Springer, p. 3512.
- [6] Babrauskas, V. (1983). *Estimating Large Pool Fire Burning Rates*, vol. 19, Springer, pp. 251-261.
- [7] Heskestad, G. (1983) *Fire Safety Journal*, vol. 5, Boston: Elsevier, pp. 103-108.
- [8] Shokri M. y Beyler, C. L. (1989) *Journal of Fire Protection Engineering*, vol. 1, pp. 141-150.
- [9] Thomas, P. H. (1962) *Ninth Symposium (International) on Combustion*, Pittsburgh: International Association for Fire Safety Science, p. 844-859.
- [10] Cook, J. Bahrami Z. y Whitehouse, R. J. (1990) *Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 3, London: Elsevier, pp. 150-155.
- [11] National Fire Protection Association, *NFPA 30 Flammable and Combustible Liquids Code*, 2015 Edition ed., 2015.
- [12] McGrattan, K. B. Baum H. R. y Hamins, A. (2000). *NISTIR 6546 Thermal Radiation from Large Pool Fires*, United States of America.
- [13] Comisión Venezolana de Normas Industriales (1991). *Materiales Inflamables y Combustibles. Almacenamiento y Manipulación, Parte: 1. Líquidos*.



- [14] Petróleos de Venezuela (2012), *IR-M-01 Separación entre Equipos e Instalaciones*.
- [15] Petróleos de Venezuela (2011), *IR-S-19 Criterios para el Cálculo de Consecuencias*, Edición 0.
- [16] Center for Chemical Process Safety (1999). *Guidelines for Consequence Analysis of Chemical Releases*, New York: American Institute of Chemical Engineers p. 82.

**SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.**

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.  
Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053  
Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>