DETERMINACIÓN DE ZONAS DE AFECTACIÓN POR INCENDIO CON BLEVE EN ESTACIÓN DE SERVICIOS DE COMBUSTIBLES

DETERMINATION OF ZONES AFFECTED BY FIRE WITH BLEVE IN FUELS SERVICE STATION

Manolo Cordova Suarez[1]
Darwin Cordova Suarez[2]
Edison Villacrés Cevalos[3]
Anderson Robalino Padilla[4]

DOI: https://doi.org/10.61154/metanoia.v10i1.3189

[1] E-mail: manolo.cordova@unach.edu.ec **Afiliación:** Faculty of Engineering, National University of Chimborazo, Av. Antonio José de Sucre 060108, Riobamba, Chimborazo, Ecuador **ORCID:** https://orcid.org/0000-0001-6786-7926
[2] E-mail: dcordova@hotmail.com **Afiliación:** APS SHAYA, SLB, Av. De los Granados vía a Nayón, Ekopark Torre 3, 170503, Quito, Pichincha, Ecuador **ORCID:** https://orcid.org/0009-0003-6168-037X
[3] E-mail: pvillacres@unach.edu.ec **Afiliación:** Faculty of Engineering, National University of Chimborazo, Av. Antonio José de Sucre 060108, Riobamba, Chimborazo, Ecuador **ORCID:** https://orcid.org/0000-0001-9518-1278
[4] E-mail: anderson@hotmail.com **Afiliación**: Faculty of Engineering, National University of Chimborazo, Av. Antonio José de Sucre 060108, Riobamba, Chimborazo, Ecuador. **ORCID:** https://orcid.org/0009-0000-1292-7936

RESUMEN: Los accidentes por incendios en Estaciones de Servicios de Combustibles (EDS) presentan una grave amenaza para las actividades humanas y la economía local. Se genera la irradiación térmica del incendio y pueden afectar a los ocupantes y vecinos. Primero se calcule las zonas de afectación por irradiación térmica en un Incendio con Explosión de Vapor en Expansión de Líquido Hirviendo (BLEVE) en la Estación de Servicios "La Granja" ubicada en el cantón Pallatanga utilizando la nota técnica de prevención (NTP) 293. Para esto se pensó un incendio generalizado en los 5 tanques de almacenamiento con líquidos combustibles. Luego se calculó la afectación a las personas a diferentes distancias utilizando los modelos de vulnerabilidad de las personas por accidentes mayores según las funciones PROBIT de Finney. Al final se prolongará las distancias de intervención y de alerta por exposición a la radiación térmica del incendio según la normativa SEVESO para diferentes eventos. Se encontró que, a 23,83 °C, 76,09%; 2911,1 Pa; la distancia de intervención es de: 783 m, y 980 m de distancias para la zona de alerta. Así mismo se calculó que existen: a) el 100% de quemados con ropa de protección a 400 m, b) el 100% de quemados sin ropa de protección a 500m, c) el 100% de afectados con quemaduras de 1er grado a 600 m, d) el 100% de

Fecha de presentación: Febrero, 2023
Fecha de aceptación: Junio, 2023 Volumen 09 | Número 2 | Julio – Diciembre, 2023

afectados con quemaduras de 2do grado a 800 m y e) el 100% de quemaduras mortales cerca de los 400 m.

PALABRAS CLAVE: Irradiación térmica, BLEVE, PROBIT, zonas de afectación, Incendio.

ABSTRACT: Fire accidents at Fuel Service Stations (EDS) present a serious threat to human activities and the local economy. The thermal radiation of the fire is generated and can affect the occupants and neighbors. First, the areas affected by thermal irradiation in a Fire with Expanding Boiling Liquid Steam Explosion (BLEVE) at the "La Granja" Service Station located in the Pallatanga canton are calculated using the prevention technical note (NTP) 293. For this, a generalized fire was thought in the 5 storage tanks with combustible liquids. Then, the impact on people at different distances was calculated using the vulnerability models of people due to major accidents according to Finney's PROBIT functions. In the end, the intervention and alert distances for exposure to thermal radiation from the fire will be extended according to the SEVESO regulations for different events. It was found that, at 23.83 °C, 76.09%; 2911.1 Pa; the intervention distance is: 783 m, and 980 m of distances for the alert area. Likewise, it was calculated that there are: a) 100% of burns with protective clothing at 400 m, b) 100% of burns without protective clothing at 500 m, c) 100% of those affected with 1st degree burns at 600 m, d) 100% of those affected with 2nd degree burns at 800 m and e) 100% of fatal burns near 400 m.

KEYWORDS: Thermal irradiation, BLEVE, PROBIT, affected areas, Fire.

INTRODUCCIÓN:

El control de accidentes mayores en las Estaciones de Servicio de Combustibles (EDS) es importante, debido al manejo de un gran volumen de estas sustancias peligrosas y su potencial de generar incendios, explosiones y nubes de gas tóxico[1]. Un ejemplo catastrófico reciente es la explosión de una estación de servicio de combustible de gasolina en Ghana en el año 2015 donde ocasionó la muerte de 150 personas y miles de damnificados por el incendio [2]. Así mismo un estudio de alrededor de 319 accidentes en los últimos 100 años atribuyen en un 58% a eventos no deseados causados por el manejo de sustancias combustibles y explosivas; la mayoría de las veces debido a mal funcionamiento de una pieza de equipo y negligencia del personal que opera [3].

Debido a que una EDS maneja, almacena y expende combustibles en estado líquido incluyendo gasolinas, combustible para aviación, combustible de uso marino, diesel y combustible residual el peligro es constante por la capacidad de estas sustancias de cambiar de fase y generar vapores inflamables [4]. Aunque el diseño y construcción de una EDS debe realizarse de acuerdo con lo establecido en los códigos y normas oficiales vigentes muchas de ellas cumplen de manera parcial debido a la antigüedad de sus instalaciones [5]. Por otro lado, el control de los peligros en el expendio

de los combustibles en una EDS depende no solo de los actos del trabajador sino también de comprador que en muchos de los casos son los que pueden generar algún conato de incendio cerca de los surtidores los cuales, aunque funcionan con bomba sumergible y tienen una válvula de emergencia se ven insuficientes frente a las fuentes de ignición que el cliente puede generar al realizar alguna acción insegura e iniciar una llama y posteriormente un incendio[6].

En las EDS puede ocurrir varios eventos sea: a) incendio, b) explosión o c) ambos eventos al mismo tiempo. Pero la mayoría de los casos reportados definen a los incendios con explosión de vapor en expansión de líquido hirviendo (BLEVE) como el accidente industrial más frecuente en este tipo de negocio [7].

El tiempo de la BLEVE y la energía que esta produce en el incendio son importantes para un manejo adecuado de la emergencia ya que, al cuantificarlo, se puede establecer de manera más acertada la contención y la respuesta al siniestro debido a que se consigue conocer cuantitativamente el potencial del daño que causaría a las personas y materiales que están en el campo de incidencia del evento no deseado [8]. Una de las alternativas que se dispone para tener un porcentaje numérico del valor más cercano al efecto del accidente mecánico que puede ocurrir en una EDS es utilizar las funciones PROBIT de Finney [9]; estas ecuaciones PROBIT requieren de un cálculo puntual en función de la distancia pero para esto se necesita conocer la magnitudes relacionadas. Es así como para las BELVES la afectación en humanos y estructuras requiere el cálculo de: a) la sobrepresión, b) el Impulso mecánico y c) la irradiación térmica. En una BLEVE de una EDS donde se prioriza el manejo de líquidos inflamables con un alto contenido de carga térmica se producirá irradiación térmica como magnitud principal [10].

Por otro lado la normativa ecuatoriana establece que los centros de distribución se clasifican en: a) estación de servicio (EDS), b) depósito para combustible naviero nacional, c) depósito para combustible naviero internacional, d) depósito para combustible de transporte aéreo, e) depósito para combustible de uso industrial [11]. La mayoría de los sitios de expendio en el Ecuador corresponden a EDS.

Este trabajo considera el análisis de una BLEVE de una EDS que tiene 5 depósitos de combustible con una capacidad individual de 10000 galones ubicados en la sierra centro del Ecuador, a las condiciones termo higrométricas del cantón Pallatanga en la Provincia de Chimborazo. Las zonas de afectación se determinaron considerando el sitio del evento como eje del radio de afectación hasta 1000 m de distancia ya que existe un poblado dentro de ese sector. Los límites de referencia para las áreas de intervención y de alerta se definieron siguiendo la metodología SEVESO de España [12].

MATERIALES Y MÉTODOS:

Cálculo de la irradiación térmica recibida en una BLEVE.

El cálculo de irradiación térmica recibida se lo realizó considerando que el líquido de los tanques de almacenamiento de los combustibles se vaporiza súbitamente produciendo una nucleación homogénea y producen el incendio por alguna fuente de ignición externa [13]. Para establecer las condiciones propias del sitio se tomó datos de humedad relativa y la temperatura seca del aire en el lugar de ubicación de los tanques de almacenamiento siguiendo la norma UNE-EN ISO 7243:2017 [14].

Se cálculo de la irradiación térmica recibida con la ecuación 1 [15].

$$I = d * F * E \quad (1)$$

Donde I es la irradiación térmica recibida (kW/m2), d es el coeficiente de transmisión atmosférica, F es el factor geométrico de visión y E es la intensidad media de la radiación generada por la BLEVE (kW/m2).

Cálculo del porcentaje de personas afectadas.

Aunque los efectos de una BLEVE también se producen sobrepresión, impulso mecánico y proyección de fragmentos del recipiente, en este trabajo se tomó en cuenta la irradiación térmica recibida como magnitud de afectación. Para calcular la afectación primero se determinó el tiempo de exposición efectivo. Ver ecuación 2 [16],

$$t_{ef} = t_r + \frac{3}{5} * \frac{x_o}{\mu}\left[1 - (1 + \frac{\mu}{x_o} * t_v)^{-5/3}\right] \quad (2)$$

Donde t_{ef} es el tiempo de exposición efectivo (s), t_r es el tiempo de Reacción, x_o es la distancia al centro del incendio (m), μ es la velocidad de escape (m/s) y t_v es el tiempo en llegar a la distancia en la que la intensidad de irradiación sea 1 kW/m^2 (s)

Luego se aplicó las funciones de Finney en su análisis de PROBIT para: a) quemaduras mortales en personas con ropa de protección, b) quemaduras mortales sin ropa de protección, c) quemaduras de segundo grado, d) quemaduras de primer grado y e) porcentaje de mortalidad. Ver ecuación 10, 11, 12, 13 y 14 respectivamente.

$$Pr = -37.23 + 2.56\, ln(t\, I^{4/3}) \quad (10)$$

$$Pr = -36.38 + 2.56\, ln(t\, I^{4/3}) \quad (11)$$

$$Pr = -43.14 + 3.0188\, ln(t\, I^{4/3}) \quad (12)$$

$$Pr = -39.83 + 3.0186\, ln(t\, I^{4/3}) \quad (13)$$

$$Pr = -14{,}9 + 32{,}56\, ln(\frac{t * I^{4/3}}{10^4}) \quad (14)$$

Donde t es el tiempo efectivo de exposición (s), e I es la intensidad de irradiación térmica ($\frac{W^2}{m}$).

Delimitación de las zonas de Afectación.

Para identificar las zonas de afectación se consideró los siguientes pasos: a) primero el cálculo de la irradiación térmica que se genera en un incendio tipo BLEVE en la EDS tomando como punto de origen del incendio los 5 tanques de almacenamiento, luego b) se determinó el porcentaje de personas afectadas empleando la función PROBIT de Finney correspondiente, y finalmente c) con los resultados obtenidos y por medio de la Normativa SEVESO de España se tomó un valor superior a 5 kW/m^2 para una zona de intervención y un valor menor a 3 kW/m^2 para la zona de alerta [17].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

Irradiación térmica recibida.

En la tabla l, se observa el resultado del cálculo de la irradiación térmica recibida en el incendio de una EDS con incendio tipo BLEVE en condiciones del cantón Pallatanga.

Tabla 1. Resultado del cálculo de Radiación Térmica Recibida (I)

Distancia (m)	I [a](Diesel Premium)* (kW/m^2)	I[a](Gasolina Super) I (kW/m^2)	I[a](Gasolina Extra) I (kW/m^2)	I[a] TOTAL (kW/m^2)
0	92,93	52,71	52,92	198,56
50	81,54	45,53	45,96	173,02
100	59,50	32,24	32,88	124,61
150	40,84	21,57	22,19	84,60
200	28,23	14,66	15,17	58,05
250	20,11	10,33	10,72	41,16
300	14,82	7,55	7,86	30,24
350	11,26	5,72	5,96	22,94
400	8,80	4,45	4,64	17,89
450	7,04	3,55	3,71	14,29
500	5,74	2,89	3,02	11,65
550	4,76	2,39	2,50	9,65
600	4,00	2,01	2,10	8,12
650	3,41	1,71	1,79	6,91
700	2,94	1,47	1,54	5,95
750	2,55	1,28	1,34	5,18
800	2,24	1,12	1,18	4,54
850	1,98	0,99	1,04	4,01
900	1,76	0,88	0,92	3,57

950	1,58	0,79	0,83	3,19
1000	1,42	0,71	0,74	2,87

Nota. [a] Irradiación térmica recibida. *La gasolinera "Granja" cuenta con 3 tanques de almacenamiento de Diésel Premium por lo que el valor inicial de radiación térmica recibida se triplica, únicamente para el Diésel.

En la figura 2. Se aprecia la irradiación térmica recibida en un incendio general (5 tanques de almacenamiento) en función a la distancia que se encuentre la población al punto de origen del incendio.

Resultados de la determinación de personas afectadas por irradiación térmica.

En base a los datos obtenidos de radicación térmica recibida por un incendio tipo BLEVE y aplicando el método PROBIT se determinan los porcentajes de población afectada, comenzando con la población afectada por quemaduras mortales usando ropa de protección tal como se muestra en la Tabla 2.

Table 2. Resultado del porcentaje de población afectada

X (m)	Pr1	%A1	Pr2	%A2	Pr3	% A3	Pr4	% A4	Pr5	%A5
0	> 8	100	> 8	100	> 8	100	> 8	100	> 8	100
400*	> 8	100	> 8	100	> 8	100	> 8	100	7,10	98
450	7,58	99,5	> 8	100	> 8	100	> 8	100	6,33	91
500	6,88	97	7,73	100	> 8	100	> 8	100	5,63	74
550	6,24	89	7,09	98	> 8	100	> 8	100	4,99	50
600	5,65	74	6,50	93	7,42	99	> 8	100	4,40	27
650	5,10	54	5,95	83	6,77	96	> 8	100	3,85	12
700	4,59	34	5,44	67	6,17	88	> 8	100	3,34	4
750	4,11	19	4,96	49	5,61	73	> 8	100	2,86	2
800	3,66	9	4,51	31	5,08	53	> 8	100	<1	0
850	3,24	4	4,09	18	4,58	34	7,89	100	<1	0
900	2,84	2	3,69	9	4,11	19	7,42	99	<1	0

Nota. Pr1: PROBIT quemadura con ropa de protección, Pr2: PROBIT quemadura sin ropa de protección, Pr3: PROBIT quemadura de segundo grado, Pr4: PROBIT quemadura de segundo grado, Pr5: PROBIT quemadura mortal, %A1: % afectados por quemadura con ropa de protección, %A2: % afectados por quemadura sin ropa de protección, %A3: % afectados por quemadura de 2do grado, %A4: % afectados por quemadura de 1er grado, %A5: % afectados por muerte por quemadura.

Resultado de la determinación de las zonas de afectación.

En la Tabla 3 se muestran las zonas de afectación causadas por un incendio tipo BLEVE en una EDS.

Table 3. Zonas de afectación por una BLEVE según SEVESO.

Tanque de almacenamiento	Zona de intervención (m)	Zona de alerta (m)
Diésel Premium	298	395
Gasolina Súper	376	491
Gasolina Extra	385	502
Incendio General	763	980

En la Figura 1 se observan las zonas de afectación causadas por un incendio total de los 5 tanques de almacenamiento de combustible. Con uso del Software ArcGIS (Arc Map 10.4.1) y en base a la normativa SEVESO se aprecia de vista superior los radios de afectación de cada zona.

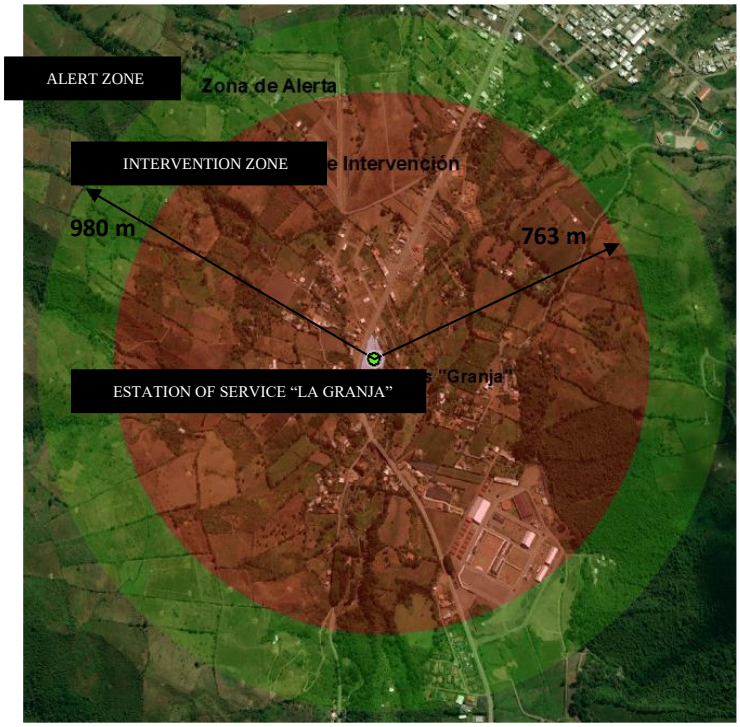

Fig. 1. Zonas de alerta e intervención en un incendio por BLEVE en una EDS

CONCLUSIONES:

En un incendio de los 5 tanques de almacenamiento de combustible: 3 de diesel premium, 1 de gasolina super y 1 de gasolina extra con un volumen total de 50000 galones el % de afectados por evento no deseado (incendio con BLEVE) tendrían los siguientes valores: 100% de quemados con ropa de protección a 400 m, 100% de quemados sin ropa de protección a 500m, 100% de afectados con quemaduras de 1er grado a 600 m, 100% de afectados con quemaduras de 2do grado a 800 m y 100% de quemaduras mortales cerca de los 400 m en el peor de los escenarios.

Se delimitó las zonas de intervención en base a los niveles de radiación térmica que recomienda la Normativa SEVESO, calculando un radio de 763 m para la zona de intervención y 980 m para la zona de alerta. Se debe tomar en cuenta estas distancias para los planes de emergencia debido a que a esa distancia se encuentran ciudadelas y restaurantes con una afluencia significativa de turistas que se verían afectados directamente por la radiación térmica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- R. M. Rashid and R. Z. R. Umar, "Control of industrial major accident hazard regulation in Malaysia: second decade in examination," *International Journal of Public Health Science,* Article vol. 12, no. 1, pp. 138-145, 2023.
- A. A. Dionisio Cuadrado, "Relación del sistema de riesgos con el índice de accidentabilidad de la empresa del sub sector hidrocarburos EBH Ingenieros SAC," 2022.
- F. I. Khan and S. J. J. o. L. P. i. t. p. I. Abbasi, "Major accidents in process industries and an analysis of causes and consequences," vol. 12, no. 5, pp. 361-378, 1999.
- O. Ureña, E. Yaryma, H. Torres, and R. German, "EVALUACIÓN DEL NIVEL DE CONOCIMIENTO DE LA NORMA INEN 2251: 2013, EXPENDIO DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS, EN LOS CENTROS DE DISTRIBUCIÓN DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS," 2019.
- R. F. Gálvez González, "Evaluación del nivel de riesgo de incendio y explosión en las estaciones de servicio de combustible del cantón Loja en el 2019, a través del método Índice Dow y la estimación de las zonas de amenaza con el software informático ALOHA," Universidad del Azuay, 2020.
- O. P. Keyn and I. V. Klimova, "Reduction of individual risk for the employee of fuel filling stations with building the accident logical models," *Bezopastnost' Truda v Promyshlennosti,* Article vol. 2019, no. 7, pp. 81-85, 2019.
- B. Hemmatian, E. Planas, and J. Casal, "Fire as a primary event of accident domino sequences: The case of BLEVE," *Reliability Engineering and System Safety,* Article vol. 139, pp. 141-148, 2015, Art. no. 5269.
- G. Landucci, M. Molag, J. Reinders, and V. Cozzani, "A modelling approach to assess the effectiveness of BLEVE prevention measures on LPG tanks," in *Safety, Reliability and Risk Analysis: Theory, Methods and Applications - Proceedings of the Joint ESREL and SRA-Europe Conference*, 2009, vol. 4, pp. 3153-3161.
- D. J. Finney, "Probit analysis; a statistical treatment of the sigmoid response curve," 1947.
- C. Téllez and J. A. Peña, "Boiling-Liquid Expanding-Vapor Explosion (BLEVE): An introduction to consequence and vulnerability analysis," *Chemical Engineering Education,* Review vol. 36, no. 3, pp. 206-211, 2002.

- J. A. Salazar Arboleda, "Estudio de riesgos de incendios en el almacenamiento de combustible en el hospital," Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Industrial. Carrera de …, 2022.
- M. J. P. d. i. Reche Motos, "Los accidentes graves en la industria química: análisis de la normativa Seveso y nuevas propuestas," 2018.
- T. Abbasi and S. A. Abbasi, "The boiling liquid expanding vapour explosion (BLEVE): Mechanism, consequence assessment, management," *Journal of Hazardous Materials*, Article vol. 141, no. 3, pp. 489-519, 2007.
- M. Onder, N. Kursunoglu, and S. Onder, "Psychrometric Analysis of a Fully Mechanized Underground Coal Mine and Establishment of Acceptable Climate Conditions," *Journal of Mining Science*, Article vol. 57, no. 5, pp. 863-872, 2021.
- E. Planas, E. Pastor, J. Casal, and J. J. J. o. L. P. i. t. P. I. Bonilla, "Analysis of the boiling liquid expanding vapor explosion (BLEVE) of a liquefied natural gas road tanker: The Zarzalico accident," vol. 34, pp. 127-138, 2015.
- E. J. N. T. d. P. N.-.-. TURMO SIERRA, "Modelos de vulnerabilidad de las personas por accidentes mayores: método Probit," 1991.
- P. Agnello, S. M. Ansaldi, and P. A. Bragatto, "Plugging the gap between safety documents and workers perception, to prevent accidents at seveso establishments," in *Chemical Engineering Transactions*, 2012, vol. 26, pp. 291-296.

©2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Fecha de presentación: Febrero, 2023
Fecha de aceptación: Junio, 2023