

ANÁLISIS DE RIESGO POTENCIAL DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE EN EL CENTRO DE QUITO, ECUADOR

Miguel Segura-Alcívar¹, Fabián Rodríguez-Espinosa^{1,2} and Theofilos Toulkeridis¹

¹Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador

²Facultad de Economía, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.

Recibido: 4 de julio del 2017 / Aceptado: 6 de octubre del 2017

RESUMEN

La terminal de combustibles “El Beaterio”, Quito-Ecuador, constituye una fuente de riesgo para la urbe adyacente. Varios eventos alrededor del mundo documentaron que las terminales de almacenamiento de combustible cerca de las poblaciones residenciales son instalaciones de alto riesgo. El área total afectada por una posible explosión por líquidos inflamables, se calcula en unos 14,84 ha fuera de la zona de seguridad previamente establecida por las autoridades, y afectaría a unos 1300 habitantes en tres barrios adyacentes a la terminal. Las principales amenazas a la población incluyen la exposición a rotura de ventanas, rupturas del tímpano y daño pulmonar. Además, el estudio revela que la mayor parte de los ciudadanos no está preparada para un posible accidente y que no percibe la seguridad residiendo cerca de la terminal. En caso de daños a bienes materiales, el 27% de la comunidad, de nivel socioeconómico bajo a medio, asegura que no tienen capacidad para reconstruir su hogar. La reubicación de estas 290 familias aproximadamente representaría un costo de US\$ 8.4 millones para el estado.

Palabras clave: terminal de almacenamiento de combustible, IBD, rango de explosión, reubicación, percepción de seguridad

ABSTRACT

The fuel terminal “El Beaterio”, Quito-Ecuador, reflects a hazard zone source for the adjoining city. Various events around the world documented that fuel storage terminals near residential populations are high-risk facilities. The total area affected by a possible explosion by flammable liquids, has been calculated to be some 14.84ha outside the security zone previously established by the authorities, and would affect about 1300 inhabitants in three neighborhoods adjacent to the terminal. The major threats to the population includes exposition to window breaks, tympanic ruptures and lung damage. Additionally, our study reveals that the major part of the citizens is unprepared for a possible accident and that they do not perceive safety residing near the terminal. In case of damage to material goods, 27% of the community, being of low to medium socio-economic level, ensures that they do not have the capacity to rebuild their home. The relocation of these 290 families would approximately represent a cost of about \$ 8.4 million USD for the state.

Keywords: Fuel storage terminal, IBD, Blast range, relocation, safety perception

INTRODUCCIÓN

Accidentes originados en tanques de almacenamiento de distintos combustibles inflamables pueden resultar altamente perjudiciales para el equipamiento asociado y circundante a la planta de almacenamiento; generando enormes pérdidas económicas para dichas instalaciones (March and McLennan, 1990; 1997; 2002). Los casos se agravan cuando, a través de una gestión

inadecuada, irresponsable o incompetente del uso de la tierra, por parte de las autoridades, se permite a las personas permanecer, construir y vivir cerca de tales instalaciones (Chandrappa y Kulshrestha, 2016). Tales cuestiones aumentan aún más cuando no se toman todas las medidas de seguridad, como es evidenciado en los países de bajos ingresos y altos índices de corrupción, desencadenando así errores humanos, malas operaciones y mantenimiento deficiente (Tanzi y Davoodi, 1998; Gupta et al., 2002; Siddig et al., 2014).

Aunque en un reciente estudio estadístico (Chang y Lin, 2006) muestra que las principales causas de accidentes son de origen natural, como un relámpago, o debido a desastres naturales menores como terremotos y huracanes (Carpenter, 1996; Watanabe, 1966; Persson y Lonnermark, 2004, Fabrocino et al., 2005, Olivares et al., 2014); la mayoría de las causas incluyen errores de mantenimiento y errores operativos (Paullin y Santman, 1985, Fewtrell y Hirst, 1998, Juckett, 2002, CPC, 2002, Petrović, 2016), el sabotaje (USCSB, 2000-2003), fallas en los equipos (Grabowski y McCormick, 1998; Lin, 2003), grietas y fisuras (PAJ, 2004), accidentes generados por electricidad o estática (ESCIS, 1988, Takagi, 2004), fugas y rupturas (Kearns, 1972), llamas abiertas (March y McLennan, 1997) y reacciones en cadena (March y McLennan, 1990).

En el pasado, como resultado de las causas mencionadas, se han producido varios casos en los que la población se asentó cerca de las plantas de almacenamiento de petróleo crudo, gasolina y productos derivados del petróleo tales como fuel oil, diesel, etc.; sufriendo una variedad de incidentes como los ocurridos en Acha Ufa, Rusia, en 1989 con más de 500 muertes, Cubatao, Brasil, en 1984 con 508 muertes, San Juan Ixhauatepec, México, en 1984 con cerca 500 muertes, Río Nilo, Egipto, en 1983 con 317 víctimas mortales y Guadalajara, México, en 1992 con 210 muertes (Pietersen y Huerta, 1984, Arturson, 1987, Pietersen, 1988, De Souza, 2000, Cutter, 2006a, 2006b, Tavares, 2011, Jetel, 2017). En Sudamérica ocurrieron un total de 33 accidentes industriales relacionados con incendios y explosiones registrados entre 1900 y 2015 que han cobrado la vida de 4465 personas y afectado a otras 46.500 (Guha-Sapir, 2015).

Por lo tanto, la proximidad de la población a las terminales de combustible es bastante preocupante. Incidentes en terminales de combustible como los producidos en Bayamón en 2009 por la Caribbean Petroleum Corporation, Puerto Rico, donde aproximadamente 300 hogares y 1500 personas fueron afectadas en un radio de poco más de dos kilómetros (US Chemical Safety and Hazard Investigation Board, 2015) (Guha-Sapir, 2015) o los accidentes industriales producidos en San Juan, México 1984, y Tocoa, Venezuela 1982, que afectaron a una población de 39248 y 1000 habitantes respectivamente, demuestran que las terminales de almacenamiento de combustible cerca de las poblaciones residenciales son instalaciones de alto riesgo, por lo que las regulaciones requieren una evaluación del riesgo para prevenir desastres y para proteger a los trabajadores y a la población en general.

Basados en los accidentes ocurridos y mencionados, se propuso evaluar el radio de exposición a riesgos derivados del almacenamiento de combustible en el sector de “El Beaterio”, Quito - Ecuador. Por lo tanto, el objetivo principal de este estudio ha sido calcular el alcance del riesgo correspondiente a un potencial accidente explosivo en dichas instalaciones. Dicha estimación del riesgo puede servir para reevaluar la zona de seguridad y proponer la reubicación de la población en peligro.

CARACTERIZACIÓN DEL ALMACÉN DE COMBUSTIBLE “EL BEATERIO” DE QUITO

La Terminal de Combustible “El Beaterio” realiza principalmente las actividades de recepción de gasolina, diesel y gasolina para aviación, así como almacenamiento, despacho y comercialización de los mismos. Desde su construcción en 1975, la terminal de “El Beaterio”

ha representado una industria de interés económico para el Ecuador y de igual manera para el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) desde su incorporación al área metropolitana en los años ochenta. La Terminal de Combustible consta de siete tanques que almacenan líquidos inflamables, uno de Gasolina Extra (15705 m³), tres de Combustible de Aviación (7961 m³) y tres de Gasolina Super (16680 m³). Además la terminal almacena once depósitos con líquidos combustibles, seis son de diesel (40237 m³), tres de Nafta Base (12183 m³), uno de SLOP (477 m³) y uno de mezclas (8633 m³).

Debido a las cantidades y localización de los combustibles en la terminal de “El Beaterio”, esta estación de despacho de combustibles ha representado una fuente de peligro evidente para la población ubicada a su alrededor; dichos peligros se evidenciaron a través de pequeños incidentes en la terminal como un incendio a pequeña escala en 1988 (Estacio, 2009). Este tipo de incidentes, así como el olor permanente de combustible, ha cambiado con el tiempo la percepción de peligro por parte de la población circundante. Las áreas de seguridad alrededor de la terminal han cambiado constantemente desde la década de 1990, pasando desde 500 m e incluso llegando a 650 m a la redonda; una vez realizada la evacuación de gas licuado de petróleo la zona de protección se redujo a 100 m. En la urbe adyacente a la terminal de combustible habitan cerca de 8700 hogares que abarcan una población aproximada de 28.000 personas (D.M.Q., 2010).

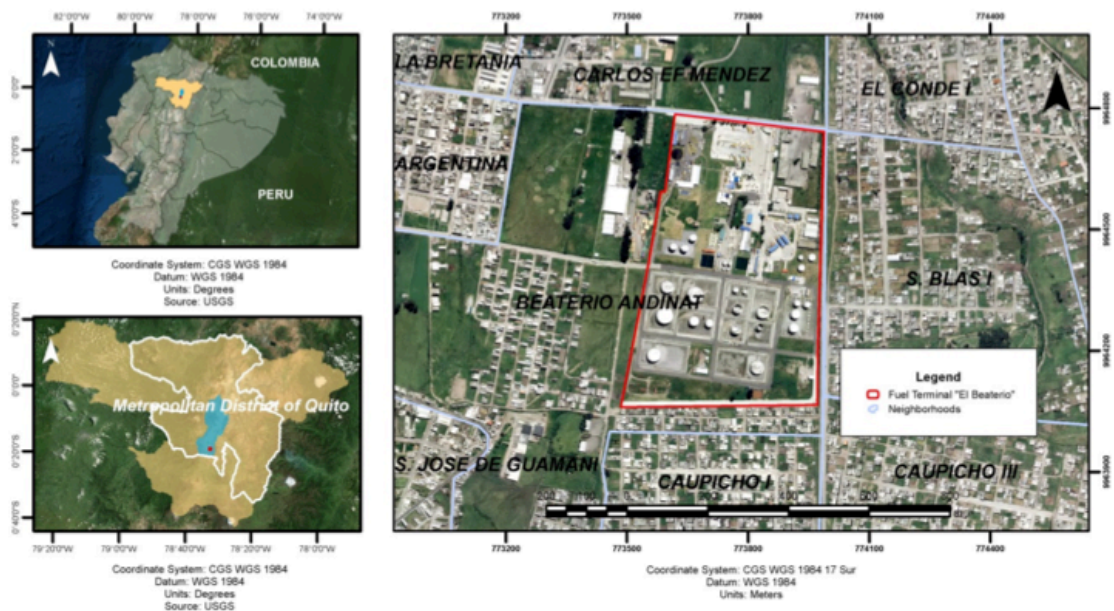


Figura 1. Superior izquierda: América del Sur con ubicación de Ecuador y Provincia de Pichincha; Inferior Izquierda: Provincia de Pichincha y ubicación del Distrito Metropolitano de Quito y su zona urbana con indicación de la zona de “El Beaterio” (punto rojo); Derecha: Terminal de combustibles “El Beaterio” y barrios adyacentes.

METODOLOGÍA

La norma NFPA 30 se aplica para el almacenamiento, manipulación y uso de líquidos inflamables y combustibles, y basándose en ella, se determina la distancia de seguridad en caso de suscitarse incendios en las terminales del combustible. En primer lugar, se determina que tanto la gasolina Extra, Súper y la gasolina Jet A1 se clasifican como líquidos inflamables de Clase IB (NFPA, 2015) porque poseen puntos de inflamación por debajo de 73 ° F y puntos de ebullición

iguales o mayores de 100 ° F. Conociendo que las presiones de operación en la terminal de combustibles son superiores a 15 psig (Villegas, 2012), que los tanques gozan con protecciones de exposición y que además el tanque con la mayor capacidad almacena 15705 m³ (3454628.85 gl), la NFPA30 establece un área de protección contra incendios equivalente a una distancia de aproximadamente 80m alrededor de la terminal.

Para analizar los efectos de una posible explosión, nuestra investigación propone modelar un derrame total de los líquidos inflamables que resultarían contenidos en los diques de seguridad. A partir de los volúmenes almacenados ($V(m^3)$) y conociendo la densidad de los mismos, $\delta_{\text{gasoline}} = 737 \text{ kg/m}^3$ y $\delta_{\text{JET A1}} = 800 \text{ kg/m}^3$, se determinan las masas de líquidos inflamables:

$$m_T = \delta * V$$

Un estudio sobre el análisis de las consecuencias de una explosión mediante modelos simples (Lobato et al., 2009) indica un modelo empírico de Trinito Tolueno (TNT) que principalmente busca determinar una equivalencia de los vapores producidos por los líquidos inflamables con el peso de TNT. A partir de la masa del líquido inflamable podemos determinar la masa de gasolina m_o (kg), que se someterá a vaporización mediante la siguiente ecuación:

$$m_o = 0.17 * m_T$$

Esta proporción de masa evaporada, regularmente entre 17 y 20%, se determina por la metodología ASTM D 5188 y se publica como característica de los combustibles investigados en los estándares ecuatorianos INEN 0935 e INEN 2070 (INEN, 2006; 2016). Con el fin de determinar la masa inicial de vapor que contribuye a una explosión, m_v (kg), se ha utilizado la siguiente ecuación del balance energético:

$$m_v = m_o * \left[1 - \exp\left(\frac{C_p * (T_o - T_{eb})}{h_v}\right) \right]$$

Dónde:

C_p (KJ/kg ·°K): Capacidad calorífica del líquido inflamable

T_o (°K): Temperatura inicial o ambiente (300°K; 26.8°C)

T_{eb} (°K): Temperatura de ebullición inicial del líquido inflamable

h_v (KJ/kg): Calor o entalpía de vaporización del líquido inflamable

Debe mencionarse que la temperatura de vaporización de las gasolinas, súper y extra, es de 303 K (29,8 ° C), razón por la cual estos líquidos son más propensos a la ignición, mientras que el combustible JET A1 tiene un punto de ebullición de 400 K (177 ° C), lo que significa que la explosión de este combustible y sus efectos podrían ocurrir cuando el ambiente alcance una temperatura muy elevada como en el caso de un incendio.

El Modelo de Explosión de Equivalencia TNT permite calcular la sobrepresión desarrollada por una explosión a distancias específicas. Para lograr esto, primero determinamos la cantidad equivalente a TNT siendo W_{TNT} (kg), de la masa de vapor que contribuye a la explosión por la ecuación:

$$W_{TNT} = \frac{m_v * \eta * \Delta H_{c(gas)}}{\Delta H_{c(TNT)}}$$

Dónde:

n: Rendimiento de explosión (adimensional); Comúnmente entre 1 y 10%.

ΔH_c (gas) (KJ/kg): Mínimo calor o la entalpía de combustión del gas generado (butano)

ΔH_c (TNT): Entalpía de combustión TNT (aproximadamente 4680 kJ / kg)

Una vez que se ha determinada la carga equivalente a TNT de la masa de vapor que contribuye a la explosión, la Calculadora de Parámetros de Explosión “Kingery-Bulmash” de las Naciones Unidas puede predecir sobrepresiones y otros parámetros a una distancia determinada del centro de una explosión (Kingery y Bulmash, 1984). Las distancias máximas de peligro se determinan hasta donde la presión de incidencia disminuye a 2.37 kPa (rango de presión mínima de incidencia). Las ecuaciones de base para la calculadora de las Naciones Unidas se derivan de los factores “Quantity-Distance” (QD) (U.N., 2015) establecidos por el Departamento de Defensa de Estados Unidos (US Department of Defense, 2012) en su manual, cuya ecuación principal es:

$$D = K * \sqrt[3]{NEWQD}$$

Dónde:

D (m): Distancia de separación

K (m/ (kg^{1/3})): Factor que depende del riesgo asumido o permitido (Hazard Division 1.1)

NEWQD (kg): Peso total de la sustancia explosiva (TNT)

Bajo este conjunto de ecuaciones base, la distancia de seguridad conocida también como “Distancia a edificios habitados” (IBD) es la distancia entre el “Sitio de Explosión Potencial” (PES) y otras estructuras que no sean edificios de terminales de combustible como escuelas, iglesias, residencias, barrios, etc. (Department of Defense, 2012).

Adicionalmente, realizamos en noviembre de 2016 una encuesta con veinte preguntas enfocadas al conocimiento y percepción de la población sobre riesgos, preparación, respuesta y capacidad para hacer frente a posibles o potenciales accidentes generados por el almacenamiento de combustibles en la terminal de “El Beaterio”. Esta investigación se ha aplicado a 180 personas adultas, todas viviendo en un radio de varios cientos de metros a la redonda de la terminal de combustibles.

RESULTADOS

Los resultados de todos los cálculos de explosión se han resumido en la Tabla 1. La equivalencia TNT ha sido listada para cada tanque de almacenamiento de líquidos inflamables, de acuerdo con el modelo empírico de Lobato (2009). La zona afectada está dictada por el rango de presión mínima de incidencia a través de la calculadora “Kingery-Bulmash Blast Parameter Calculator” de las Naciones Unidas y la distancia mínima de seguridad (IBD) para cada tanque es proporcionada por el Departamento de Defensa de EE.

Tabla 1. Equivalencia de TNT, rangos de incidencia e IBD de tanques de líquidos inflamables en las instalaciones “El Beaterio”.

Tanque N°	Producto	Capacidad (m³)	W tnt or newqd (kg)	Rango de presión mínima de incidencia (m)	Ibd (m)
TB-1001	Gasolina super	8606	36,56	132	152,4
TB-1003	Gasolina extra	15705	66,73	162	152,4
TB-1012	Gasolina super	5689	24,17	115	152,4
TB-1014	Gasolina super	2385	10,13	86	152,4
TB-1017	Jet fuel	4359	708,15	356	381
TB-1018	Jet fuel	1801	292,59	265	381
TB-1019	Jet fuel	1801	292,59	265	381

Los tanques que contienen gasolina son potencialmente peligrosos para el personal que trabaja en las instalaciones de la terminal. Los tanques de almacenamiento de combustible Jet Fuel representan las principales áreas de riesgo (Fig. 3) y por ende requieren de mayores zonas de seguridad en caso de explosiones potenciales, dichas zonas exceden el rango de seguridad actual, de 100m, a 250m al este de la terminal, poniendo en riesgo 14.84 hectáreas del área urbana adyacente.

El área total afectada por una posible explosión perjudicaría principalmente a los barrios de San Blas I, Caupicho I y Caupicho III (Fig. 2), donde cerca de 800 habitantes se encuentran expuestos en 14.84 ha localizadas fuera del rango de seguridad actual de 100 metros (D. M. Q., 2010).

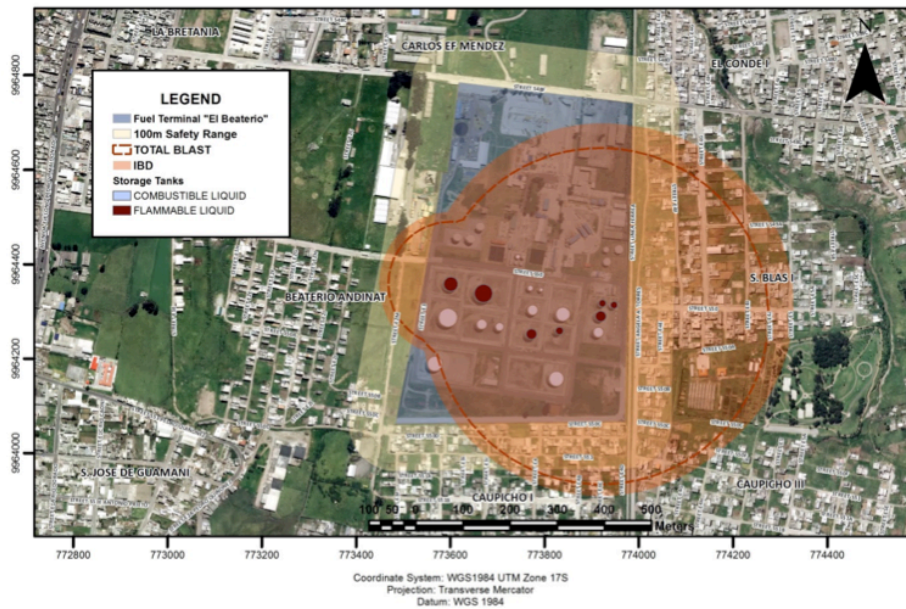


Figura 2. Mapa del impacto total y zona de seguridad mínima en caso de posibles explosiones en los tanques de almacenamiento de líquidos inflamables.

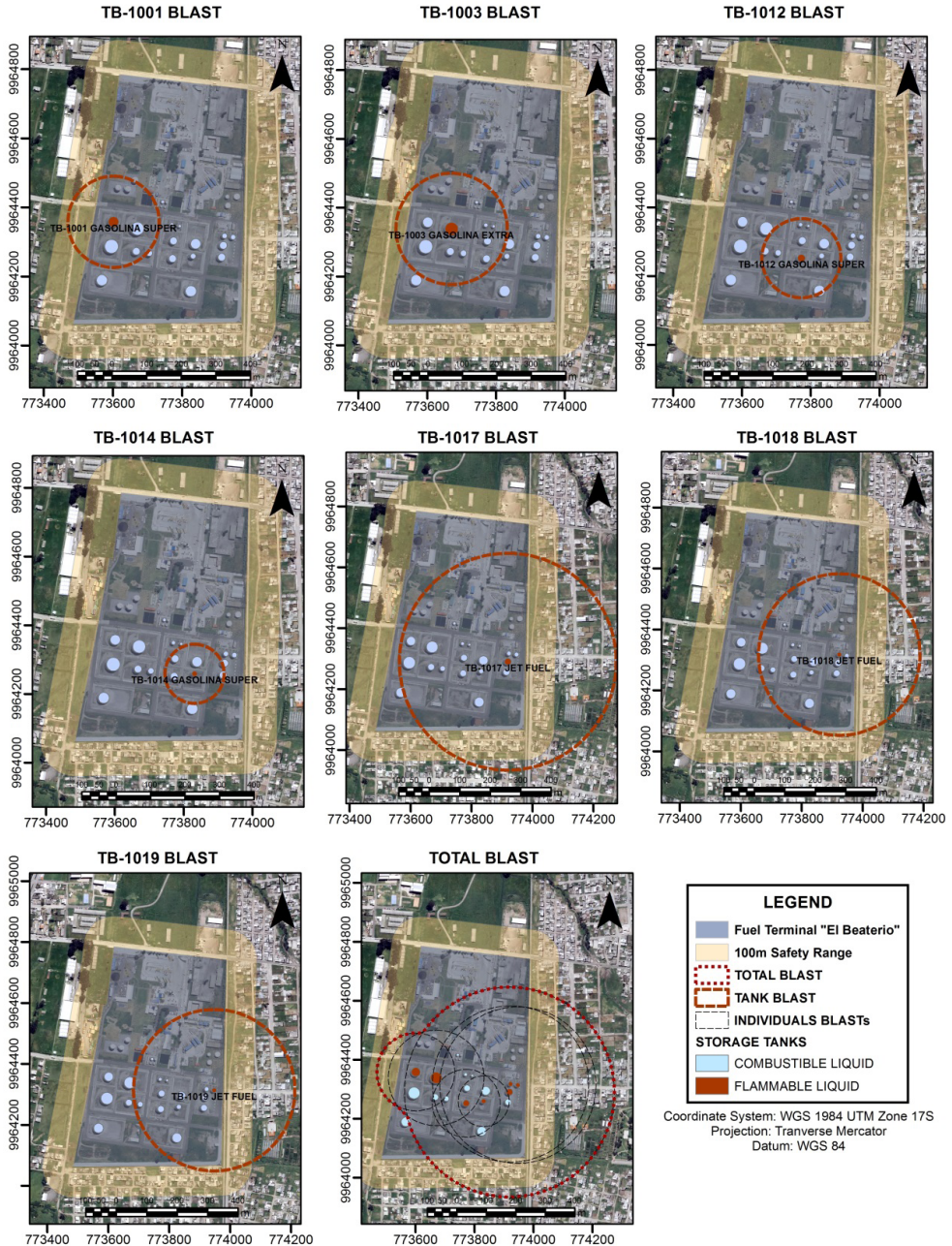


Figura 3. Zonas afectadas por posibles explosiones en los diferentes tanques de almacenamiento de líquidos inflamables. Datos aplicados de la Tabla 1.

El grado de afectación de salud de las personas dependerá de la presión de la incidencia que los individuos puedan recibir con respecto al centro de la detonación de vapores inflamables. Aproximadamente 1300 personas, dentro y fuera del rango de seguridad, que viven en viviendas de bajo costo están expuestas a ruptura y explosión de vidrios en ventanas (Fig. 4); la posibilidad de que una vivienda se encuentre expuesta a rupturas de vidrios dependerá de su localización respecto a los diferentes tanques de almacenamiento de combustible, al espesor del cristal y al área de la ventana.

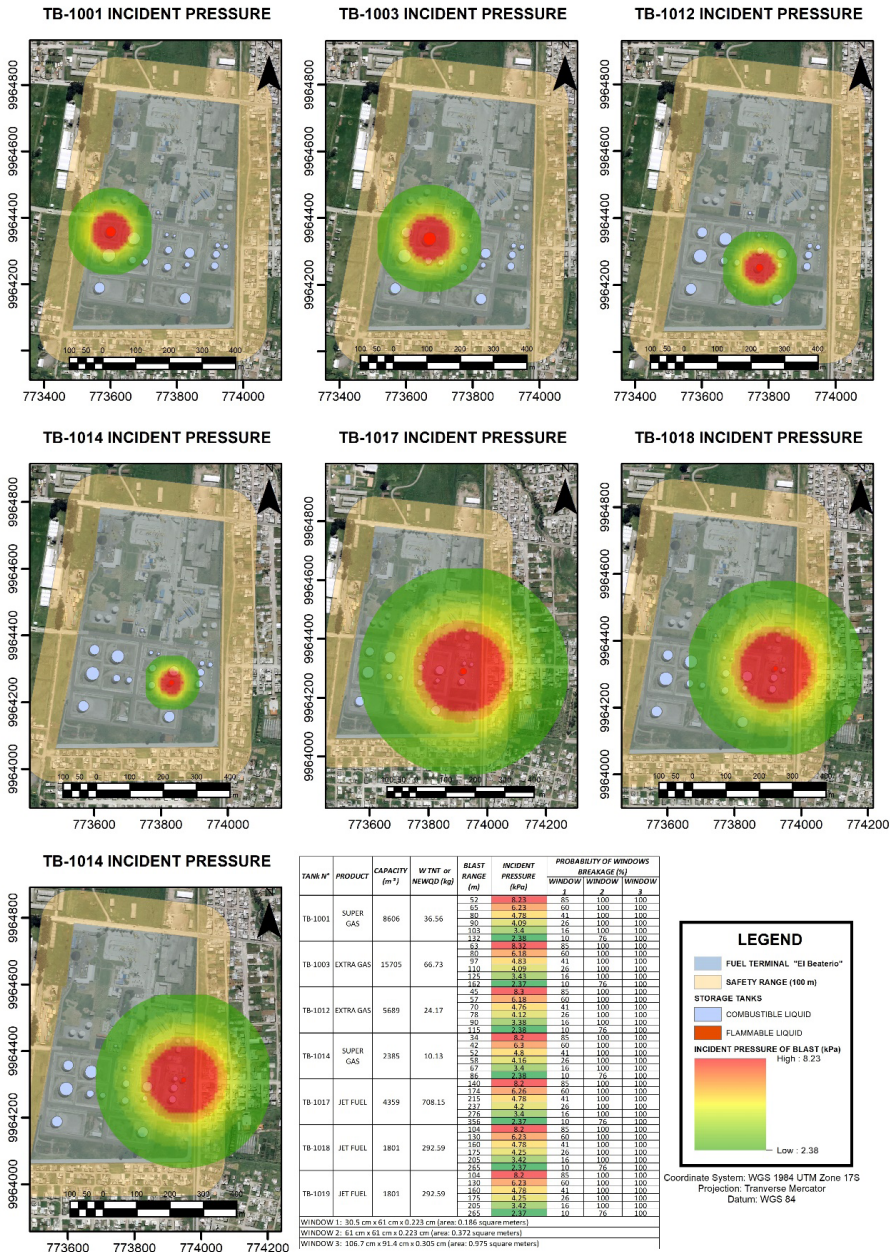


Figura 4. Zonas de afectación con posibilidad de ruptura de ventanas por posibles explosiones en los diferentes tanques de almacenamiento de líquidos inflamables.

El tanque de almacenamiento que mayor daño produciría en caso de suscitarse un accidente explosivo es el tanque TB-1017, el cuál principalmente expone a los operarios y trabajadores de la terminal a roturas de tímpano y daño pulmonar (Fig. 5). El grado de afectación menor, moderado o mayor para el oído de las personas es presumible en la zonas donde el grado de incidencia de una explosión alcance mínimo 20 kPa; mientras que en zonas donde la presión de incidencia alcance los 71 kPa, como mínimo, los perjuicios a la salud pueden llegar a ser letales al afectar a los pulmones y a la presión arterial.

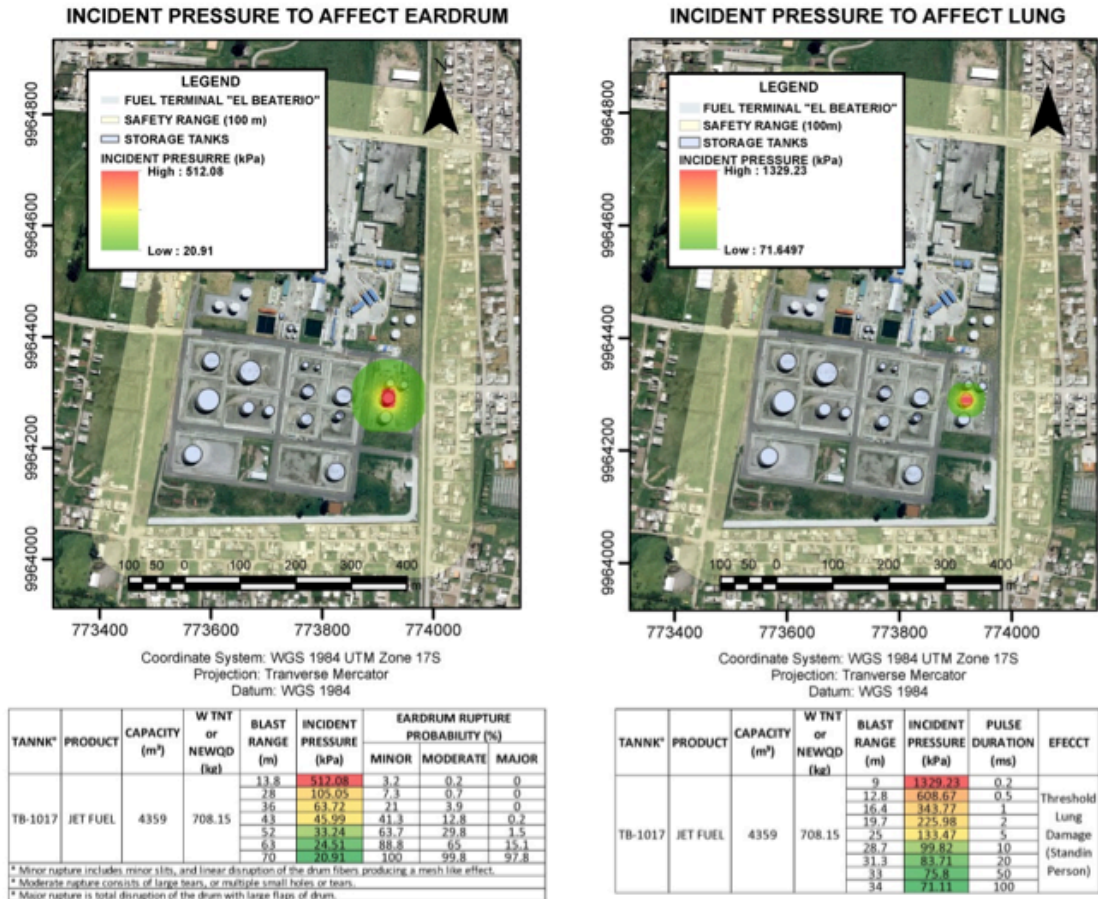


Figura 5. Zonas de afectación con posibilidad de afectación a oídos y pulmones por posibles explosiones en el tanque de almacenamiento de TB-1017.

Mediante la aplicación y análisis de encuestas sobre percepción de seguridad en los nueve vecindarios adyacentes a la terminal de combustibles, se evaluaron factores de prevención por parte de la ciudadanía en caso de un posible accidente, así como el sentido de seguridad que las instalaciones imparten a la población. El 74% de los encuestados ha finalizado los estudios secundarios y una mayoría del 66% vive al menos 5 años en la zona. Cerca del 45% de los habitantes del sector no son conscientes de los riesgos potenciales de vivir en las inmediaciones de la terminal, pero un 74% cree que se vería afectado personalmente o en sus hogares en caso de accidentes generados por el “ El Beaterio”. En caso de suscitarse una emergencia, el 86% no se siente preparado mientras que un 93% de los encuestados declararon que no habían recibido ningún entrenamiento por parte de ningún organismo. No obstante, un 15% participó en un simulacro de evacuación en los últimos años. Sólo el 60% de los habitantes conocen los números de teléfono de emergencia. La encuesta demuestra que el 75% de los ciudadanos no tiene conocimiento de rutas de evacuación y un 78 % no posee un plan familiar en caso de emergencia. El sesenta por ciento no tiene un botiquín de primeros auxilios o incluso un extintor de incendios (53%) en caso de ocasionarse una emergencia de esta índole. Alrededor del 30% de los habitantes cercanos a la terminal están molestos por el ruido de las operaciones de “El Beaterio” y el 27% por los olores emanados de los combustibles (Fig. 6).

MOLESTIAS PERCIBIDAS POR LA POBLACIÓN PRODUCTO DEL FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN DE LA TERMINAL DE COMBUSTIBLES

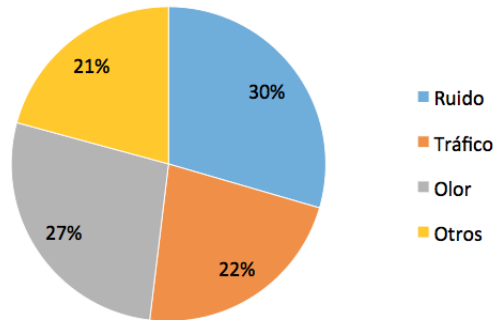


Figura 6. Molestias percibidas por parte de los residentes locales producto de las operaciones de las operaciones de la terminal “El Beaterio”.

El deseo de reubicar el “El Beaterio” es compartido por el 76% de los encuestados, mientras que el 38% consideraría una adecuada reubicación de la población al considerar los riesgos potenciales de cualquier tipo de explosiones. En general, el 87% de los ciudadanos locales afirman sentirse inseguros en el sector, mientras que sólo el 13% revelan sentirse muy o absolutamente seguros residiendo en las inmediaciones de la terminal (Fig. 7).

PERCEPCIÓN DE INSEGURIDAD POR PARTE DE LA POBLACIÓN SOBRE POSIBLES ACCIDENTES EN LA TERMINAL DE COMBUSTIBLES

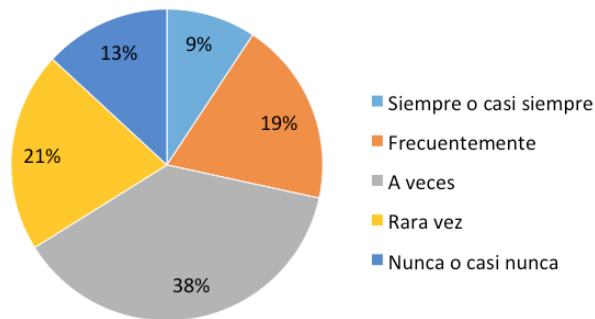


Figura 7. Percepción de la inseguridad de los residentes locales sobre posibles accidentes del “El Beaterio”.

Alrededor del 90% no tiene seguro de vivienda y en el caso de un posible daño a la propiedad, la comunidad afirma que sólo el 12% de los afectados podrían reconstruir sus viviendas con su propio financiamiento. Aproximadamente el 36% percibe la posibilidad de recibir asistencia del gobierno nacional o local, mientras que el 27% confiesa no tener las capacidades de una reconstrucción.

La investigación demuestra claramente que la mayoría de las personas que residen cerca de la estación de almacenamiento de combustible no son realmente conscientes de los riesgos potenciales del área donde habitan y no serían capaces de responder a cualquier tipo de peligro que pudiera suscitarse por el hecho de encontrarse absolutamente desinformados y no preparados.

IMPACTO ECONÓMICO EN CASO DE UNA POTENCIAL EXPLOSIÓN DE COMBUSTIBLE

Petroecuador EP creó un fondo de 7.237 millones para expropiar a 250 hogares de la zona de seguridad de alrededor de 100m de alcance, lo que supone un valor aproximado de 29 mil dólares por hogar. Para 2015, 137 hogares han sido compensados (EP Petroecuador, 2015). Sin embargo, nuestros resultados indican que cerca de 290 hogares también serán afectados por una potencial explosión en el “El Beaterio” (Fig. 8) al encontrarse fuera de seguridad. Por lo tanto, un apropiado daño potencial a la propiedad y la salud todavía no es considerado por la compañía petrolera.

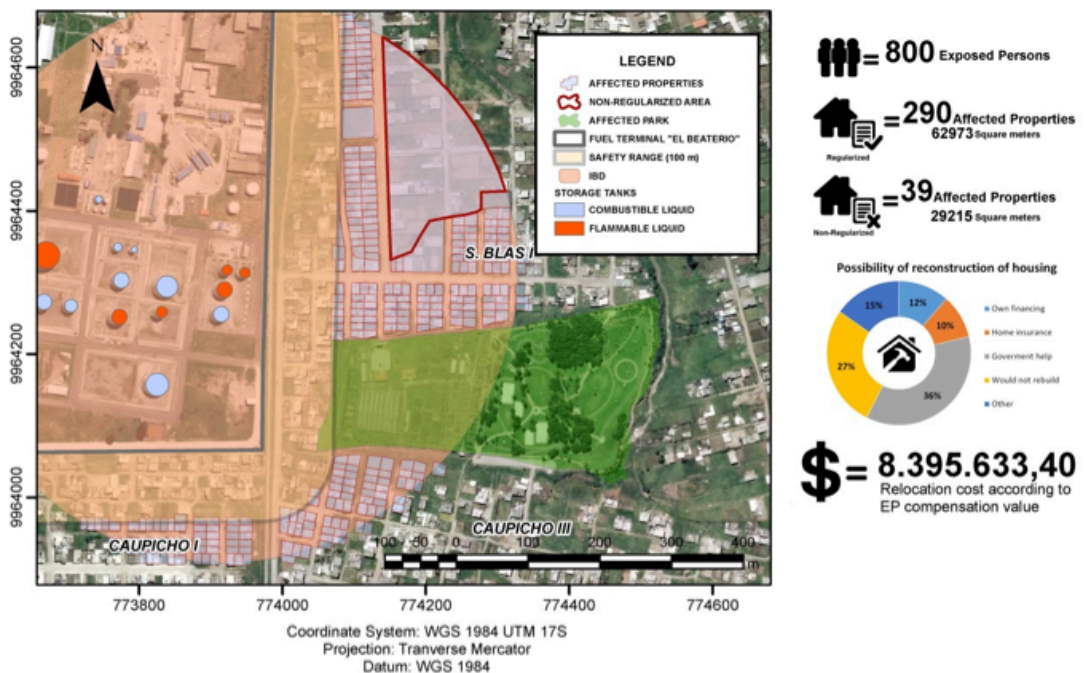


Figura 8. Propiedades afectadas, fuera del rango de seguridad actual, por posibles explosiones en los diferentes tanques de almacenamiento de líquidos inflamables.

Además, estimamos el valor de vivienda y valor de la propiedad para los 290 hogares a partir del código urbanístico de Galicia (Código de Urbanismo de Galicia, 2015) que explica la relación proporcional de las áreas de uso de la tierra y los espacios mínimos considerados para construcciones en un espacio sostenible en la organización de la tierra de una comunidad. Estos espacios sobre y debajo de la superficie del suelo están asociados a áreas residenciales, industriales, comerciales, hoteleras, verdes y comunitarias, así como servicios públicos básicos y comunicaciones (Colegio Oficial de Arquitectos de Granada, 2012). Además, también estimamos los valores de los hogares basados en el promedio pagado por el EP Petroecuador a los hogares dentro del área de rango de seguridad, así como un valor promedio de vivienda estimado basado en el valor catastral de DMQ (Tabla 2).

Tabla 2. Estimación del valor de compensación por propiedades afectadas.

	Cantidad de hogares afectados	Valor por propiedad	Costo total para EP
Valor de compensación en el rango de seguridad de EP	250	28950,46	7.237.614,00
Valor de compensación de EP	290	28950,46	8.395.633,40
Valor catastral del DMQ	290	71412,15	20.709.524,54
Valor por propiedad de acuerdo al código de Galicia	290	59455,91	17.242.213,78

Claramente, el número de hogares fuera de los rangos de seguridad establecidos por la compañía petrolera es mucho mayor y como en consecuencia el resultado de los costos totales para la compañía aumenta. El valor de compensación más alto es para el valor catastral del DMQ, como se ha explicado anteriormente, no todas las propiedades tienen un valor de catastro formal así que se ha utilizado el valor medio de acuerdo al código Galicia, que es una estimación conocida para vivienda popular.

CONCLUSIONES

Con base en nuestros resultados, la distancia máxima de peligro de explosión de los vapores producidos en los tanques de almacenamiento de líquidos inflamables, donde la presión de incidencia se reduce a 2,37 kPa, lo que puede ocasionar ruptura de ventanas, rotura de tímpanos y daño pulmonar excede la distancia actual de seguridad de 100 metros en los barrios de San Blas I, Caupicho I y Caupicho III por aproximadamente 200 metros.

La distancia mínima de seguridad, IBD, entre los sitios potenciales de explosión y las viviendas, establecida por las Normas de Seguridad de Municiones y Explosivos del Departamento de Defensa de los Estados Unidos, está a unos 250 metros fuera del cinturón de seguridad actual en los barrios de San Blas I, Caupicho I y Caupicho III.

Basado en la investigación, la mayoría de las personas que residen en las cercanías de la terminal no son conscientes de los riesgos potenciales del área donde habitan. Su grado de respuesta a cualquier accidente potencial generado en el “El Beaterio” es extremadamente limitado.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por su apoyo logístico y financiero, así como al Ing. David Mejía por su apoyo en algunos de los cálculos.

REFERENCIAS

- Argyropoulos, C. D., Christolis, M. N., Nivolianitou, Z., & Markatos, N. C. (2012). A hazards assessment methodology for large liquid hydrocarbon fuel tanks. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 25(2), 329-335.
- Arturson, G. (1987). The tragedy of San Juanico - the most severe LPG disaster in history. *Burns*, 13(2), 87-102.
- ASTM International. (2016). ASTM D 5188 Standard Test Method for Vapor-Liquid Ratio Temperature Determination of Fuels.
- Carpenter, R. B. (1996). *Lightning protection for flammables storage facilities*. Boulder, CO, USA: Lightning Eliminators, Consultants.
- Código de Urbanismo de Galicia. (2015). Obtenido de Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado: www.boe.es/legislacion/codigos/
- Colegio Oficial de Arquitectos de Granada. (2012). *Costes de referencia de la construcción*. Granada.
- Chandrappa, R., & Kulshrestha, U. C. (2016). Air Pollution and Disasters. In *Sustainable Air Pollution Management* (pp. 325-343). Springer International Publishing.
- Chang, J. I., & Lin, C. C. (2006). A study of storage tank accidents. *Journal of loss prevention in the process industries*, 19(1), 51-59.
- Chen, C. H., Sheen, Y. N., & Wang, H. Y. (2016). Case analysis of catastrophic underground pipeline gas explosion in Taiwan. *Engineering Failure Analysis*, 65, 39-47.
- CPC (2002). *Collection of industrial accidents*. Taipei, Taiwan, ROC: Chinese Petroleum Corporation.
- Cutter, S. L. (2006a). Fleeing from harm: International trends in evacuations from chemical accidents. *Hazards, vulnerability and environmental justice*, 23.
- Cutter, S. L. (2006b). Societal response to environmental hazard. *Hazards, vulnerability and environmental justice*.
- De Souza Jr, A. B. (2000). Emergency planning for hazardous industrial areas: a Brazilian case study. *Risk Analysis*, 20(4), 483-494.
- Department of Defense. (2012). *DoD Ammunition and Explosives Safety Standards: General Explosives Safety Information and Requirements (Vol. 1)*.
- ESCIS. (1988). Static electricity: Rules for plant safety. *Plant/Operations Progress*, 7(1), 1-22.
- EP Petroecuador. (2015). Implementación de la franja de Seguridad en el Terminal El Beaterio, 6-8. Obtenido de: www4.eppetroecuador.ec/.
- Estacio, J. (2009). Construction and transformation of the technological hazard: El Beaterio (Quito) fuel storage facility. *Bulletin de l'Institut français d'études andines*, 38(3), 683-707.
- Fabbrocino, G., Iervolino, I., Orlando, F., & Salzano, E. (2005). Quantitative risk analysis of oil storage facilities in seismic areas. *Journal of Hazardous Materials*, 123(1), 61-69.
- Fewtrell, P., & Hirst, I. L. (1998). A review of high-cost chemical/petrochemical accidents since Flexborough 1974. *IchemE Loss Prevention Bulletin*, 1, 140.
- Graboski, M. S., & McCormick, R. L. (1998). Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines. *Progress in energy and combustion science*, 24(2), 125-164.
- Guha-Sapir, D., Below, R., & Hoyois, P. (2015). *EM-DAT: International disaster database*. Catholic University of Louvain: Brussels, Belgium.
- Gupta, S., Davoodi, H., & Alonso-Terme, R. (2002). Does corruption affect income inequality and poverty. *Economics of governance*, 3(1), 23-45.

- INEN - Instituto Ecuatoriano de Normalización (2006). INEN 0935 PETROLEUM DERIVATE PRODUCTS. JET A-1. SPECIFICATIONS.
- INEN - Instituto Ecuatoriano de Normalización (2016). INEN 0935 PETROLEUM PRODUCTS. GASOLINE. REQUIREMENTS.
- Jetel, V. (2017). Coordination of public infrastructure solution for preventing of accidents. In MATEC Web of Conferences (Vol. 93, p. 03009). EDP Sciences.
- Juckett, D. (2002). Properties of LNG. LNG Workshop LNG Workshop. US. Department of Energy, MD. US MD: Department of Energy.
- Kearns, E. (1972), Headline and excerpts from various newspapers on major gas explosion - Tewksbury, MA-9, 1972. Tewksbury, MA, USA.
- Kingery, C.N. and Bulmash, G., 1984: Airblast Parameters from TNT Spherical Air Burst and Hemispherical Surface Burst, Report ARBL-TR-02555, U.S. Army BRL, Aberdeen Proving Ground, MD.
- Lin, C.C. (2003). A safety study of oil tank farms, M.S. thesis. National Kaohsiung First University of Science and Technology, Kaohsiung, Taiwan, ROC.
- Lobato, J., Rodríguez, J. F., Jiménez, C., Llanos, J., Márquez, A., & Inarejos, A. M. (2009). Consequence analysis of an explosion by simple models: Texas refinery gasoline explosion case. *Afinidad*, 66(543), 372-379.
- March and McLennan (1990). Large property losses in the hydrocarbon-chemical Industries: A thirty-year review (17 ed.). New York, USA: M & M Protection Consultants.
- March and McLennan (1997). Large property losses in the hydrocarbon- chemical industries: A thirty-year review (ed. 17). New York, USA: M, M Protection Consultants.
- March and McLennan (2002). The 100 largest losses 1972-2001: Large properties in the hydrocarbon-chemical industries. New York, USA: M, M Protection Consultants.
- MUNICIPIO, D. M. Q. (2010). [http://sthv. quito. gob. Ec](http://sthv.quito.gob.Ec). Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda.
- National Fire Protection Association (2015). NFPA 30 Flammable and Combustible Liquids Code.
- Olivares, R. D. C., Rivera, S. S., & McLeod, J. E. N. (2014). Database for accidents and incidents in the biodiesel industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 29, 245-261.
- Onuoha, F. C. (2008). Oil pipeline sabotage in Nigeria: dimensions, actors and implications for national security. *African Security Studies*, 17(3), 99-115.
- PAJ (2004). List of oil spill accidents and petroleum. Tokyo, Japan: Petroleum Association of Japan.
- Paullin, R.I., Santman, L.D. (1985). Report on San Juan Ixhuatepec Mexico LPG accident. Materials Transportation Bureau, US Department of Transportation, Washington, DC.
- Persson, H., Lonnermark, A. (2004). Tank fires. SP Swedish National Testing and Research Institute, SP Report 2004:14, Boras, Sweden.
- Petrović, Z. C. (2016). CATASTROPHES CAUSED BY CORROSION. *Military Technical Courier/Vojnotehnicki Glasnik*, 64(4).
- Pietersen, C. M. (1988). Analysis of the LPG-disaster in Mexico City. *Journal of Hazardous Materials*, 20, 85-107.
- Pietersen, C. M., & Huerta, S. C. (1984). Analysis of the LPG Incident in San Juan Ixhuatepec, Mexico City, 19 November 1984. Netherlands Organization for Applied Scientific Research, Division of Technology for Society.

- Román, R. V. Aprendizajes del Accidente de San Juan Ixhuatepec-MEXICO. *Información Tecnológica* VOL 23 No, 6, 128.
- Siddig, K., Aguiar, A., Grethe, H., Minor, P., & Walmsley, T. (2014). Impacts of removing fuel import subsidies in Nigeria on poverty. *Energy Policy*, 69, 165-178.
- Takagi, N. (2004). Petroleum fire and explosion accidents caused by static electricity. In Y. Uehara, & T. Ogawa (Eds.), *Handbook of fire and explosion protection*. Tokyo, Japan: Technical Systems.
- Tanzi, V., & Davoodi, H. (1998). Corruption, public investment, and growth. In *The Welfare State, Public Investment, and Growth* (pp. 41-60). Springer Japan.
- Tavares, R. A. M. (2011). Accidental release of hazardous gases: modelling and assessing risk. U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board. (2015). Caribbean petroleum tank terminal explosion and multiple tank fires. In *Final Investigation Report - Caribbean Petroleum*.
- United Nations. (2015). *International Ammunition Technical Guideline. Formulae for ammunition management*.
- USCSB (2000–2003). *Monthly incident news reports*. US Chemical Safety and Hazard Investigation Board, Washington, DC.
- Villegas, E. (2012). Analysis of risks through the hazop method in the areas of storage, pumpkin and office of the cleaning products terminal “EL Beaterio” of EP Petroecuador (Master’s thesis).
- Watanabe, T. (1966). Damage to oil refinery plants and a building on compacted ground by the Niigata earthquake and their restoration. *Soil and Foundation*, VI (2), 86–99.
- Zhu, Y., Qian, X. M., Liu, Z. Y., Huang, P., & Yuan, M. Q. (2015). Analysis and assessment of the Qingdao crude oil vapor explosion accident: Lessons learnt. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 33, 289-303.