

Modelación de Riesgos Hacia los Trabajadores y Comunidad por Emisiones de Gas Licuado de Petróleo, Utilizando Software Slab View en la Ciudad de Los Angeles, Chile

RISKS MODELING TO WORKERS AND THE COMMUNITY FOR RELEASES OF PETROLEUM LIQUID GAS, USING SOFTWARE SLAB VIEW IN LOS ANGELES CITY, CHILE

Adrián Silva¹, Margarita Barrandeguy¹, Javier Quintana¹

1. Profesor Asistente del Departamento de Ciencias y Tecnología Vegetal. Escuela de Ciencias y Tecnologías. Universidad de Concepción. Los Ángeles. Chile.

RESUMEN

Con el software SLAB VIEW se realizaron modelaciones para determinar cuantitativamente los riesgos hacia los trabajadores y comunidad por emisiones accidentales de gas licuado de petróleo, desde fuentes de uso y almacenamiento, dentro del radio urbano de Los Ángeles (Chile). Se modelaron 23 fuentes con categoría de riesgo grave, clase "C" y las 3 fuentes con categoría muy grave, clase "D", identificadas con la metodología APELL, aplicada en el estudio de Silva et al. (2016).

Se evaluó el comportamiento espacial y temporal de las fugas de gas para estanques identificados con capacidades de 2 m³, 4 m³, 11 m³ y 49 m³ utilizando promedios estacionales de variables meteorológicas consideradas en un periodo de evaluación de cinco años. Se utilizaron variables de tiempo de fuga evaluando su comportamiento en 1, 3 y 5 minutos, con el fin de identificar las condiciones del peor escenario. Como resultado se obtiene que el comportamiento de la nube depende de la estabilidad atmosférica, siendo la condición estable donde concentraciones de interés permanecen por más tiempo alcanzando mayores distancias y que el peor escenario para una fuga son las bajas temperaturas y las condiciones atmosféricas estables. Como conclusión, puede establecerse que en la zona de estudio existen estanques que son potencialmente peligrosos por deflagración para trabajadores y la comunidad; sin embargo, los tiempos de exposición no generan peligros por exposición aguda.

(Silva A, Barrandeguy M, Quintana J, 2017. Modelación de Riesgos Hacia los Trabajadores y Comunidad por Emisiones de Gas Licuado de Petróleo, Utilizando Software Slab View en la Ciudad de Los Ángeles, Chile. Cienc Trab. Sep-Dic; 19 [60]: 183-187).

Palabras claves: RIESGOS LABORALES, FUGA DE GASES, GASES DENSOS, GLP, SLAB VIEW.

ABSTRACT

With the SLAB VIEW software, modeling was performed to determine quantitatively the risks to workers and the community from accidental releases of liquefied petroleum gas, from sources use and storage, within the urban radius of Los Angeles (Chile). 23 sources with a severe risk category class "C" and the 3 very severe risk category class "D" identified with the APELL methodology, applied in the study by Silva et al. (2016), were modeled.

The spatial and temporal behavior of the gas leaking for tanks identified with capacities of 2m³, 4m³, 11m³ and 49m³ were evaluated using seasonal averages of meteorological variables considered in a five - year evaluation period. Leakage time variables were used evaluating their behavior in 1, 3 and 5 minutes in order to identify worst-case conditions. As a result it is obtained that the behavior of the cloud depends on the atmospheric stability, being the stable condition where concentrations of interest remain longer reaching greater distances and that the worst scenario for a leak is the low temperatures and the stable atmospheric conditions. As a conclusion, it can be established that in the study area, there are ponds that are potentially dangerous due to deflagration for workers and the community, however, exposure times do not generate hazards due to acute exposure.

Key words: OCCUPATIONAL HAZARDS, GAS LEAKING, DENSE GASES, LPG, SLAB VIEW.

INTRODUCCIÓN

Las instalaciones industriales que procesan, manipulan o quienes transportan sustancias peligrosas están expuestos a sufrir incidentes de diversa gravedad en alguna de estas etapas; como consecuencia

de una fuga no controlada, presencia de incendios o de igniciones, y a pesar de las técnicas y medidas preventivas que puedan adoptarse, no es posible reducir el riesgo a cero. Siempre existirá alguna probabilidad finita de que ocurra una falla con consecuencias potencialmente graves para las personas.¹ Uno de los casos más emblemáticos a nivel internacional fue el ocurrido en Ufa, Rusia, el 4 de junio de 1989, donde la ruptura de un gaseoducto que transportaba Gas Licuado de Petróleo (GLP) dejó escapar cantidades considerables de propano y butano que se depositaron en el valle donde se cruzan dos líneas férreas; dos trenes que viajaban en sentido apuesto cruzaron la densa nube de gas y las chispas que generaba el roce de la locomotora con las vías fueron las que detonaron una sucesión de violentas y rápidas deflagraciones, a causa de esto murieron 575 personas.² En Chile también se pueden encontrar una gran variedad

Correspondencia / Correspondence:

Adrián Silva F.

Juan Antonio Coloma 0201.

Los Ángeles. Chile.

Tel.: 56 43 2405137

e-mail: asilvaf@udec.cl

Recibido: 14 de Junio de 2017 / Aceptado: 28 de Septiembre de 2017

de accidentes relacionados con la fuga de gas, uno de ellos es el ocurrido en la ciudad de Viña del Mar: en agosto del 2013, una gran explosión se produjo cuando un camión de la empresa Abastible realizaba una descarga en la bencinera “Hola”. Para controlar la situación acudieron ocho compañías de bomberos y se realizó una evacuación a 500 metros a la redonda, tres personas resultaron heridas y con serias quemaduras.³ Más reciente es el incendio que consumió totalmente el Mercado de Temuco, considerado como inmueble de conservación histórica, ocurrido el 20 de abril del 2016. A causa de una fuga de gas y una falla eléctrica, se generó un incendio que consumió totalmente dicho mercado, dejando a 140 locatarios con pérdidas totales.⁴

El presente estudio se orienta en el GLP, siendo este potencialmente peligroso si se manipula incorrectamente, pero un excelente combustible, ecológico y versátil, que cuenta con millones de consumidores en todo el mundo⁵, preferido para muchas aplicaciones en diversos sectores como el transporte, la industria, la agricultura y la calefacción doméstica, entre muchas más.⁶

El modelo “Slab” toma como base de partida los planteamientos llevados a cabo por Zeman (1982) para fugas de gases más pesados que el aire, a baja temperatura; posteriormente, el grupo liderado por Ermak y Chan (1982 y 1988) lo implementaron en un programa informático denominado Slab. El modelo está basado en un conjunto de ecuaciones diferenciales simultáneas de conservación de la masa total de la especie de interés, de la energía y de momento, a las que se añaden otras ecuaciones suplementarias, esto es, la ecuación de estado, la ecuación que establece el caudal de entrada de aire en la nube, y la que define los perfiles de concentración en las tres direcciones del espacio. Respecto a la entrada de aire, los algoritmos de Slab distinguen entre la entrada vertical en la superficie y la entrada transversal y longitudinal al viento por los bordes de la nube.⁷ El laboratorio Lawrence Livermore en California comparó los valores obtenidos en el modelado de dispersión de gases densos con el modelo SLAB, concluyendo que el modelo asegura resultados cercanos a los reales.⁸

Se realizaron modelaciones con el software SLAB VIEW para determinar cuantitativamente los riesgos hacia los trabajadores y la comunidad por emisiones accidentales de gas licuado de petróleo, desde fuentes de uso y almacenamiento, dentro del radio urbano de la ciudad de Los Ángeles en Chile. Se modelaron los 23 objetos en nivel de riesgo clase C (Grave); es decir, que en caso de una fuga accidental esta pudiera tener consecuencias como algunos heridos de gravedad y complicaciones serias; y 3 objetos en nivel de riesgo clase D (Muy Grave); es decir, con consecuencias como más de cinco muertes, más de veinte heridos de gravedad y hasta quinientos evacuados, identificadas con la metodología del Programa de Concientización y Preparación para Emergencias a Nivel Local (APELL) aplicada en el estudio de Silva et. al.⁹

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en la zona urbana de la ciudad de Los Ángeles, que cuenta con una población de 136.921 habitantes según el censo aplicado el año 2012¹⁰ (INE, 2012), en puntos concretos donde se manipule, almacene y/o transporte GLP, en los cuales en un evento de liberación accidental puedan generarse situaciones (intoxicaciones y/o deflagraciones) con repercusiones negativas para los trabajadores y la comunidad.

Instrumentos y procedimiento

Para modelar el comportamiento espacial y temporal e identificar los factores del peor escenario en caso de liberaciones accidentales de GLP se utilizó el software especializado Slab View. Para el procesamiento de los datos de viento se utilizó el software Wrplot View, ambos desarrollados por la empresa Lakes Environmental Inc. Para evaluar la exposición al GLP, se utilizaron los Niveles de Referencia de Exposición Aguda para sustancias químicas (Acute Exposure Guideline Levels o AEGL, en sus siglas en inglés) de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) USA. Otras tareas de cómputo se realizaron mediante la herramienta Excel de Microsoft Office y los resultados obtenidos de las modelaciones fueron expresados con apoyo de la herramienta Google Earth Pro®.

Información meteorológica

La información meteorológica corresponde a la registrada en el portal web sinca.mma.gob.cl por las Estaciones Meteorológicas Oriente y 21 de Mayo, pertenecientes a la Subsecretaría del Medio Ambiente, cuyas coordenadas UTM WSG 84 Huso 18 de localización se muestra en el Tabla 1. De dichas estaciones se recopiló datos para los años 2013 y 2014. Para los datos meteorológicos correspondientes a los años 2011, 2012 y 2015, fueron utilizados datos proporcionados por la Red Agroclima FDF-INIA-DMC de su estación Los Ángeles, ubicada en la provincia del Biobío, cuyas coordenadas UTM WSG 84 Huso 18 se muestran también en el Tabla 1.

Tabla 1.
Ubicación de estaciones Oriente, 21 de Mayo y Los Ángeles.

Estación	Coordenadas UTM
Oriente	736622 E 5850392 S
21 de Mayo	733331 E 5849585 S
Los Ángeles	719623 E 5852617 S

Los datos meteorológicos de los cinco años registrados se resumieron en promedios estacionales (verano, otoño, invierno y primavera), los cuales fueron utilizados para determinar el comportamiento de la liberación de GLP en las modelaciones.

Niveles de referencia para exposición aguda y para deflagraciones de sustancias químicas

Para evaluar si las concentraciones existentes en la liberación pudieran causar efectos en la salud y/o provocar deflagraciones, se utilizaron los valores AEGL, que establecen el tiempo que una persona puede estar expuesta a diferentes concentraciones de GLP. Los efectos en la salud que puede provocar la exposición se clasifican en 3 niveles, siendo 1 el menos y 3 el más grave.

Como referencias se utilizaron concentraciones de 19000 ppm, para una nube que puede provocar deflagraciones y una concentración de 10000 ppm, a la cual una persona puede estar expuesta por un periodo máximo de 10 minutos.

Los AEGL se destacan por constituir un estándar de colaboración mundial, con aportes de sectores públicos y privados, utilizados por servicios de emergencias en derrames, fugas u otras exposiciones catastróficas.¹¹

Software especializado Slab View

El software debe ser alimentado con información sobre el lugar georreferenciado (coordenadas UTM) donde ocurre la fuga y su radio estimado de afectación, pudiendo ser visualizado con Google Earth Pro®. Se debe especificar el tipo de fugas, las que para este

estudio se consideraron de tipo horizontal. Luego de incorporadas las propiedades fisicoquímicas para GLP, se definieron los parámetros de fuga, siendo estas variables con las cuales se evaluó el comportamiento de la pluma, como por ejemplo el tiempo de fuga (1, 3 y 5 minutos) y cantidad de sustancia liberada, en este caso considerando la liberación total del estanque modelado, cuyas cantidades están definidas según su categorización; para los estanques categorizados en clase C, las cantidades corresponden a 2 m³ y 4 m³, y para estanques de clase D, 11 m³ y 49 m³, de acuerdo estudio previo de Silva et. al.⁹

En los casos donde exista más de un estanque, solo se considera la fuga de un estanque. Posterior a esto, se especifica la tipografía del terreno de forma urbana, y finalmente se ingresan las variables meteorológicas, indicando la estabilidad atmosférica según la clasificación de Pasquill (1961), quien realizó su categorización según condición: atmosférica inestable (A), atmosférica neutra (D) y atmosférica estable (F).¹²

Visualización

Las modelaciones realizadas en Slab View se superponen en Google Earth Pro exponiendo de manera gráfica los resultados obtenidos, proporcionando información sobre la ubicación de estanques, zonas posiblemente afectadas, concentración de GLP en el tiempo, dirección y distancia alcanzada por la liberación.

RESULTADOS

Variables Meteorológicas

Se obtuvieron los siguientes promedios para las diferentes estaciones del año (Tabla 2), registrando mayores temperaturas y velocidades del viento en periodo de verano, y mayor porcentaje de humedad relativa en periodo de invierno.

Los resultados obtenidos a través del software Wrplot para la dirección del viento fueron representados en rosas de los vientos para

Tabla 2.
Promedios estacionales de variables meteorológicas.

Estación del año	Variables Meteorológicas		
	Temperatura (C°)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del Viento (m/s)
Verano	19,35	59,20	2,60
Otoño	11,90	77,13	2,27
Invierno	8,84	79,93	2,43
Primavera	14,91	65,03	2,53

Figura 1.
Distribución del viento y vientos predominantes (sentido del viento: "hacia dónde va").

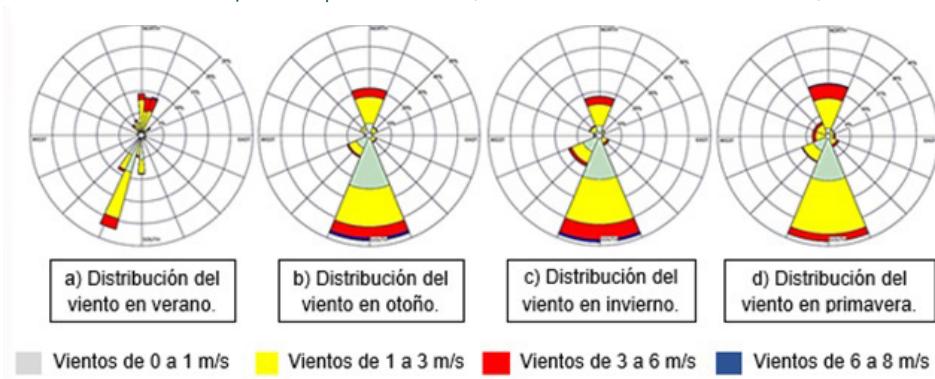
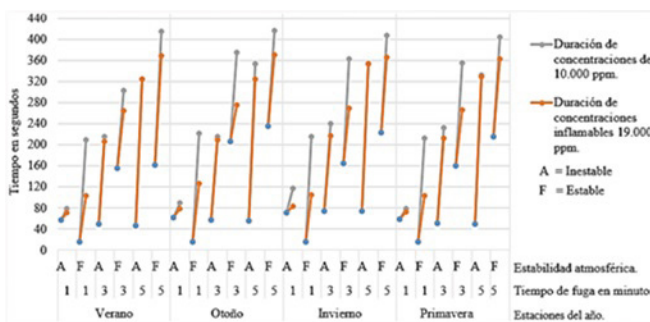


Tabla 3.
Variables Físicoquímicas del GLP.

Variables	Valor	Unidad
Peso Molecular	44,09	Gramos por mol (g/mol)
Calor Específico (Vapor)	1641,2	Joule por kilogramo (J/kg-k)
Punto de Ebullición	231,05	Grados kelvin (°K)
Calor de Vaporización	4,004 x 10 ⁵	Joule por kilogramo (J/kg)
Calor Específico (Líquido)	2430	Joule por kilogramo (J/kg-k)
Densidad Líquida	536	Kilogramo por metro cúbico (kg/m ³)
Límite inferior de explosividad	1,8	Porcentual (%)
Límite superior de explosividad	9,5	Porcentual (%)

Fuente: AFROX, Manual de referencia de productos empresa.¹³

Figura 2.
Detección, inicio y término de concentraciones por estaciones del año en condiciones atmosféricas inestables y estables.



los periodos estacionales, considerando 0° en dirección norte y 180° en dirección sur. Las direcciones de los vientos predominantes fueron 180° para otoño, invierno y primavera, y 200° para la estación de verano (Figura 1).

Variables fisicoquímicas del GLP

Las variables fisicoquímicas recopiladas para el GLP son las indicadas en la Tabla 3. Estas corresponden a la mezcla de propano y butano en concentraciones de 60% y 40%, respectivamente (sustancias que componen el GLP).

Comportamiento espacial y temporal estacional de fugas de GLP. En las modelaciones realizadas con el software Slab View se observó que el comportamiento de la nube en las diferentes estaciones del año es similar (Figura 2). También es posible observar que en periodo de verano, el tiempo en que la nube alcanza concentraciones de 10.000 y 19.000 ppm es más reducido, al igual que su duración, tratándose de forma independiente según el tiempo de fuga; a diferencia del periodo de invierno, donde las concentraciones de interés aparecen de manera tardía y su duración en el tiempo es mayor. Las condiciones atmosféricas analizadas corresponden a condiciones inestables (A) y estable (F), para representar los extremos posibles de variabilidad atmosférica.

La estabilidad atmosférica es lo que más influye en el comportamiento de la nube y las concentraciones que pueden causar efectos sobre la salud y provocar deflagraciones. Si se categoriza con una estabilidad atmosférica

estable (Figura 3) la nube de 19000 ppm representada de color morado que posee características explosivas, permanece por un mayor tiempo, desapareciendo totalmente a los 105 segundos después de iniciada la fuga; a diferencia de una categorización atmosférica inestable (Figura 4), donde los vientos se tornan más turbulentos provocando que la nube de 19000 ppm desaparezca más rápidamente a los 84 segundos después de iniciada la fuga. De igual manera se ve afectada la distancia alcanzada por las nubes, para una condición estable la nube con características de deflagración alcanza 158 m y en condiciones inestables 113 m.

Figura 3.

Comportamiento de la nube posterior a fuga de 1 minuto, estación invierno, condición estable.

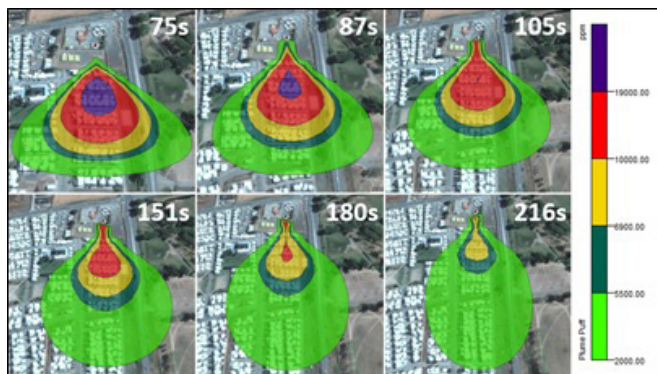
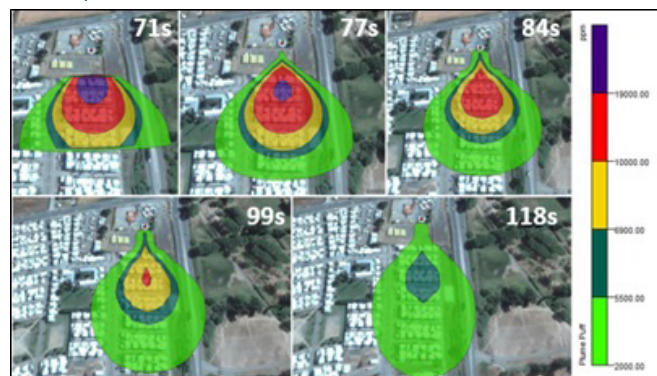


Figura 4.

Comportamiento de la nube posterior a fuga de 1 minuto, estación de invierno, condición inestable.



Condiciones del peor escenario en la emisión de GLP

Concluyendo de lo anterior, se puede establecer que las condiciones más desfavorables al ocurrir una fuga de GLP son en estaciones de menor temperatura como lo es invierno y condiciones atmosféricas estables. Díaz et al. señalan que en condiciones de estabilidad atmosférica, debido a que los vientos son calmados, existe menor dispersión de gases llegando a mayores concentraciones, favoreciendo un mayor desplazamiento de la pluma y alcanzando mayores distancias, lo que coincide con el análisis de los resultados obtenidos anteriormente. Se afecta, por lo tanto, una mayor superficie de territorio con mayor población y trabajadores cercanos al lugar de fuga.¹⁴

Visualización de escenarios más desfavorables

Las modelaciones se realizaron con las condiciones del peor escenario indicadas en el punto anterior, la dirección de los vientos

consideró la frecuencia de distribución entregada por el software Wrplot para los vientos en estación de invierno, con el fin de dirigir las concentraciones de 19000 ppm, considerada como una nube que puede provocar deflagraciones y 10000 ppm, concentración a la cual una persona puede estar expuesta por un periodo máximo de 10 minutos según los niveles de referencia a exposición aguda (AEG), para los trabajadores y la comunidad.

Se evaluaron las distancias alcanzadas en el tiempo para las concentraciones de 19000 y 10000 ppm. Para concentraciones de 19000 ppm, la mayor distancia alcanzada es de 227 metros desde el punto de fuga, en un tiempo de 25 segundos, el cual corresponde a un estanque con capacidad de 49 m³ (Figura 3), pudiendo afectar a trabajadores, personas y la comunidad que se encuentren dentro de esta distancias. De la misma forma, la menor distancia alcanzada para esta concentración es de 20 metros en un tiempo de 177 segundos, que corresponde a un estanque de 2 m³ (Figura 4) pudiendo afectar directamente a trabajadores ubicados dentro de las dependencias de una empresa.

De igual forma se evaluó el tiempo que permanecen las concentraciones de 19000 y 10000 ppm presentes en la nube, considerando las capacidades de los estanques identificados. Las concentraciones de 19000 ppm, al igual que las concentraciones de 10000, son detectadas más rápidamente en la fuga desde un estanque de 49 m³ en un tiempo de 1 segundo luego de iniciada la fuga (Figura 3), perdurando durante 60 segundos las concentraciones de 19000 ppm y 110 segundos las concentraciones de 10000 ppm. El mayor tiempo en detectar la presencia de estas concentraciones es en una

Figura 5.

Fuga desde estanque con capacidad de 49 m³ ubicado en una distribuidora de gas.

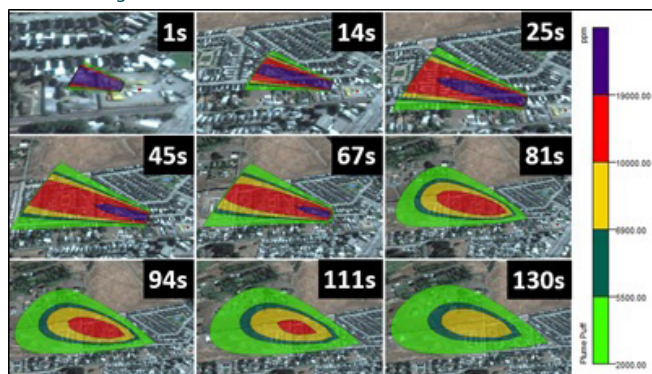


Figura 6.

Fuga desde estanque con capacidad de 2 m³ ubicado en una fábrica laminadora de madera.

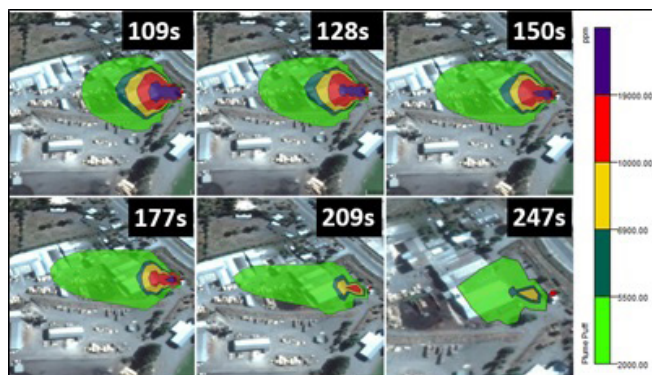
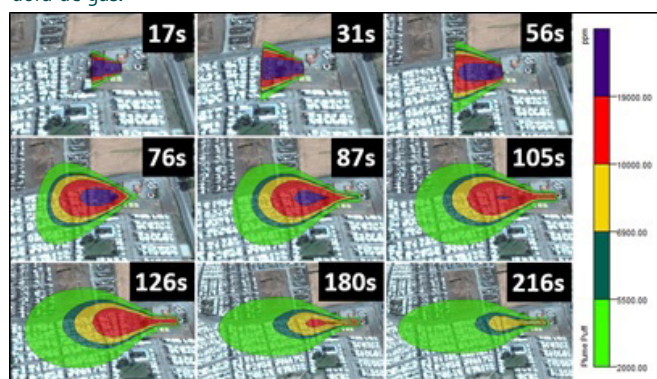


Figura 7. Fuga desde estanque con capacidad de 11 m³ ubicado en una distribuidora de gas.



fuga desde un estanque de 11 m³ (Figura 5), registrando un tiempo de 88 segundos para concentraciones de 19000 ppm y 199 segundos para concentraciones de 10000 ppm. En ninguno de los casos las concentraciones de 10000 ppm perduró más de 600 segundos (10 minutos), por lo tanto, no habría riesgo de intoxicación por GLP, según los niveles de exposición aguda (AEGL).

DISCUSIÓN

La pertinente utilización de la herramienta Slab View concuerda con lo establecido por Sánchez et al.¹¹, quien señala que los modelos de simulación constituyen un importante instrumento, ya sea para la respuesta a una emergencia en tiempo real, permitiendo obtener una primera aproximación de la situación en un tiempo breve o para realizar una evaluación de los alcances de una emer-

gencia favoreciendo la planificación de la misma bajo supuestos escenarios y condiciones.

CONCLUSIONES

En la zona de estudio existen estanques que, en caso de una fuga, formarían nubes gaseosas de concentraciones potencialmente peligrosas que pueden afectar a trabajadores y la comunidad cercana, a causa de sus concentraciones explosivas. No existe peligro de intoxicación por GLP, ya que el tiempo de exposición es menor a lo indicado para los niveles de exposición aguda (AEGL). El comportamiento de la nube formada a causa de la fuga, depende de la estabilidad atmosférica en la que se encuentre, siendo más peligroso en condiciones atmosféricas estables, debido a la baja turbulencia del aire que provoca una menor dispersión, favoreciendo la presencia de concentraciones explosivas. Las bajas temperaturas provocan que las concentraciones perduren por un mayor tiempo en el ambiente a diferencia de temperaturas elevadas, por lo cual, la estación de invierno es el peor escenario al momento de ocasionarse una fuga. La fuga desde un estanque de 49 m³ es potencialmente más peligrosa, ya que las concentraciones explosivas se detectan de forma inmediata.

Agradecimientos

Los autores agradecen particularmente a la Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo por los recursos entregados a través del proyecto VRID N°215.418.008-1.0 IN y a la Red Agroclima FDF-INIA-DMC, por facilitar datos de la estación meteorológica Los Ángeles.

Financiamiento: Proyecto VRID N° 215.418.008-1.0 IN de la Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo. Universidad de Concepción.

REFERENCIAS

- Carrari C, Aparicio L, Bandoni J, Tonelli S. Utilización de modelos de dispersión atmosférica para la estimación de dosis de exposición. *Mecánica Computacional*. 2004; 23(16):1743-1760.
- Peña J. 25 años del accidente de tren más grave de la historia de Rusia. *Russia Beyond* [en línea] 30 Jun 2014; Secc. Estilo de vida [citado 27 abr 2016]. Disponible en: http://es.rbth.com/sociedad/2014/06/30/25_anos_del_accidente_de_tren_mas_grave_de_la_historia_de_rusia_41365.
- Explosión por fuga de gas causa incendio en bencinera de Viña del Mar. *Emol* [en línea] 14 Ago 2013; Secc. Nacional Noticias [citado 21 Abr 2016]. Disponible en: <http://www.emol.com/noticias/nacional/2013/08/13/614347/incendio-en-bencinera-de-vina-del-mar.html>
- González K. Incendio del Mercado de Temuco: Gásfiter se habría retirado del lugar para buscar una pieza faltante. *La Tercera* [en línea]. 21 Abril 2016; Secc. Nacional Noticias [citado 27 Abr 2017]. Disponible en: <http://www.latercera.com/noticia/nacional/2016/04/680-677520-9-incendio-del-mercado-de-temuco-gasfiter-se-habria-retirado-del-lugar-para-buscar.shtml>
- Jiménez F. La Seguridad en la distribución y manipulación del G.L.P. [en línea] En: *La Seguridad Industrial Fundamentos y Aplicaciones*. Cap. 15. Madrid: MINER-F2I2; 2005 [citado 24 abr 2016]. Disponible en: http://www.f2i2.net/web/publicaciones/libro_seguridad_industrial/l5i_cap15.pdf
- Villafañe D. Estudio de la dispersión e incendio de nubes inflamables de gas (GNL y GLP) [tesis en línea]. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya; 2013 [citado 26 Mar 2016]. Disponible en: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/128931/TDVS1de1.pdf?sequence=1>
- Ermak D. User's Manual for Slab: An Atmospheric dispersion model for denser-than-air releases. California: US Department of Energy-University of California; 1990.
- Díaz C, Vázquez R, Sam M. Determinación de los Factores del Peor Escenario en la Emisión de Gases Tóxicos. *Inf Tecnol*. 2009; 20(1):3-10.
- Silva A, Barrandeguy M, Pincheira Y. Riesgos hacia los trabajadores y la comunidad por liberaciones accidentales de gases densos peligrosos en la ciudad de Los Ángeles. *Cienc Trab*. 2016; 18(56):81-86.
- Chile. Instituto Nacional de Estadísticas (INE). Estadísticas demográficas y vitales [en línea]. Santiago de Chile: INE; 2013 [citado sep 2017]. Disponible en: <http://www.ine.cl/estadisticas/demograficas-y-vitales>
- United States Environmental Protection Agency (EPA). Acute Exposure Guideline Levels for Airborne Chemicals (AEGL) [on line]. Washington DC: EPA; 2017. Available from <https://www.epa.gov/aegl>
- Sánchez E, Colman J, Acquesta A, Porta A, Jacovkis P. Dispersión de contaminantes y zonas de afectación en un incidente químico para la planificación y respuesta [en línea]. Buenos Aires: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET); 2012 [citado 28 mar 2016]. Disponible en: http://www.conicet.gov.ar/new_scp/detalle.php?keywords=&id=05422&inst=yes&congresos=yes&detalles=yes&congr_id=1543071
- AFROX. Liquefied Petroleum Gas: Product Reference Manual; Section 5 [on line]. Johannesburg: AFROX; 2017 [cited Nov 2017]. Available from: http://www.afrox.co.za/internet.global.corp.zaf/en/images/Section%205%20-%20%20%20%20%20%20%20%20LPG266_154562.pdf?v=2.0
- Díaz C. Minimización del Riesgo de Accidentes por Emisión de Gases Tóxicos a través de la Distribución de Facilidades [tesis]. Guanajuato: Instituto Tecnológico de Celaya; 2008.