



Riesgo por fugas accidentales de gas licuado de petróleo hacia trabajadores y comunidad en las ciudades de Nacimiento, Cabrero, La Laja y Mulchén (Chile)

Risk for accidental leaks of liquefied petroleum gas to workers and community in Nacimiento, Cabrero, La Laja y Mulchén cities (Chile)

Fecha de envío: 3 de septiembre 2021

Fecha de aceptación: 6 de septiembre 2022

Adrián Silva¹, Rodolfo Contreras² y Margarita Barrandeguy¹

¹ Departamento de Ciencias y Tecnología Vegetal, Escuela de Ciencias y Tecnologías, Universidad de Concepción, Juan Antonio Coloma 0210, Los Ángeles, Chile, asilvaf@udec.cl, mbarrand@udec.cl

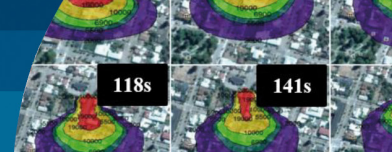
² Ingeniería en Prevención de Riesgos, Universidad de Concepción, Juan Antonio Coloma 0210, Los Ángeles, Chile, rcontrerasj@udec.cl

Se evaluaron los riesgos de fugas de GLP, desde estanques de almacenamiento, hacia trabajadores y la comunidad en cuatro ciudades en Chile. La información de los estanques fue obtenida desde fuentes públicas y privadas, complementada con trabajo de campo. Se consideraron estanques de 2 m³ y 4 m³. Se aplicaron las metodologías de análisis de riesgo NTP 937 (2012) y APELL (2015), además del software Slab View para modelar el comportamiento espacial y temporal de las fugas. Como resultado se identificaron 41 estanques de GLP. Del análisis de la aplicación la metodología NTP 937 (2012) se obtuvo que el riesgo por inhalación en 8 de los 9 puestos de trabajo evaluados es de nivel moderado y que el puesto de trabajo con mayor riesgo laboral corresponde al trabajador doméstico con un riesgo moderado y una prioridad de acción clase 2, por lo que se necesita probablemente de medidas correctoras y una evaluación más detallada. De la utilización de la metodología APELL (2015) se obtuvo que en las cuatro ciudades las fugas de GLP tendrían un efecto sobre los trabajadores y la comunidad a un nivel de prioridad clase B y C pudiendo en el último caso ocasionarse heridas graves y serias complicaciones a trabajadores o personas. Finalmente, con Slab View se obtuvo que no existe riesgo por intoxicación debido a que los tiempos de exposición para concentración de 10000 ppm son menores a los 10 min sugeridos por los niveles AEGL (EPA, 2016) y que existen situaciones tiempo-distancia en donde se alcanzan concentraciones de 19000 ppm que podrían ocasionar deflagraciones y una eventual explosión.

Palabras clave: riesgo laboral, fuga de gas, gas licuado de petróleo GLP, programa Slab View

The risks of LPG from storage tanks to workers and community in four cities in Chile were assessed. The information from the tanks was obtained from public and private sources, complemented with field work. Tanks with capacities of 2 m³ and 4 m³ were considered. The methodologies for the risk analysis of NTP 937 (2012) and APELL (2015), in addition to the Slab View software to model the spatial and temporal behavior of leaks were applied. As a result, 41 LPG tanks were identified. From the analysis of the application of the NTP 937 (2012) methodology it was obtained that the risk by inhalation in 8 of the 9 jobs evaluated is of a moderate level and that the job with the highest occupational risk corresponds to the domestic worker with a moderate risk and a priority for action class 2. So corrective actions and a more detailed evaluation are probably required. Using the APELL (2015) methodology, it was obtained that in the four cities, LPG leaks would have an effect on workers and the community at a class B and C priority level, in the latter case causing serious injuries and serious complications to workers or persons. Finally, with Slab View it was obtained that there is no risk of intoxication because the exposure times for a concentration of 10000 ppm are less than the 10 min suggested by the AEGL levels (EPA, 2016) and that there are time-distance situations where concentrations of 19000 ppm are reached and that could cause deflagration and an eventual explosion.

Keywords: occupational hazard, gas leaks, liquefied petroleum gas LPG, Slab View software



Introducción

A lo largo de la historia humana, el hombre ha ido transformando y atravesando diversas etapas; desde la aparición de las primeras comunidades sedentarias, hasta el día de hoy, en el que la tecnología predomina, alterándose poco a poco el balance natural establecido entre el ecosistema y el ser humano (Alfayate, 2004). A partir de la revolución industrial, comenzaron a verse los primeros impactos negativos a nivel global, debido a la mecanización masiva, la migración campo-ciudad y la utilización de combustibles fósiles, ocasionando un agravamiento en la contaminación localizada (Otero, 2001). Posterior a esta etapa de desarrollo industrial la contaminación ambiental se manifestó de manera más importante y se generó preocupación por el deterioro del planeta. Esto significó que, en 1972, la Organización de las Naciones Unidas estableciera el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), cuya principal función ha sido promover el desarrollo sostenible del medio ambiente (PNUMA, 2017).

Las instalaciones que manipulan, procesan, transportan o almacenan sustancias peligrosas están expuestas a sufrir incidentes de diversa gravedad en alguna de estas etapas; como consecuencia de una fuga no controlada (Carrari *et al.*, 2004). Como ejemplo de lo anterior se tiene el accidente ocurrido la madrugada del 19 de noviembre de 1984, en San Juan Ixhuatepec, México, donde se registró una de las explosiones de Gas Licuado de Petróleo (GLP) más grandes de su historia. La fuga producto de una sobresaturación en uno de sus estanques dio paso a una nube de 200 m de alto que cubrió un área de alrededor de 200x150 m² que se movía lentamente, que culminó en una brusca explosión, dejando a 503 personas muertas y más de 7000 heridos (López *et al.*, 2012).

Chile no ha estado ajeno a este tipo de accidentes, ejemplo de ello es el accidente ocurrido en diciembre del año 2016 en la ruta 68 en la cual un vehículo de transporte de GLP de la empresa Abastible volcó a causa de que el conductor perdió el control de su vehículo en una curva, iniciando una serie de explosiones debido a la ruptura de las válvulas tras la caída. El accidente terminó afortunadamente sin lesionados y con la pérdida total del vehículo (Emol, 2016). Otro ejemplo, es la explosión de gas ocurrida en la clínica Sanatorio Alemán de la ciudad de Concepción en el

año 2018, que dejó tres fallecidos y 46 heridos, accidente provocado por una perforación accidental en una cañería de gas mientras se realizaban trabajos de reparación (Cooperativa, 2018).

En ocasiones, el riesgo de que se produzca un derrame o fuga no es valorado adecuadamente, subestimándose o simplemente obviándose; observándose planes de emergencia de instalaciones industriales en las cuales la única emergencia de carácter tecnológico que se contempla es el incendio (García, 1999). Debido a esa situación de carencia de evaluaciones de riesgos tecnológicos es que necesariamente se han generado metodologías para evaluar el riesgo que conllevan las distintas operaciones industriales. Es así como, en el año 1988, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA, el cual desde 1972 promueve el desarrollo sostenible, creó el programa de Concientización y Preparación para Emergencias a Nivel Local (APELL, por sus siglas en inglés) el cual permite enfrentar, tanto riesgos derivados de accidentes tecnológicos como riesgos por desastres naturales, que afectan o podrían afectar a las comunidades, permitiendo desarrollar planes de reducción de riesgo en instalaciones industriales, transporte de materiales peligrosos y puertos (APELL, 2015). Por otra parte, el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) de España, publicó una Nota Técnica de Prevención (NTP 937, 2012), que tiene relación con la utilización de modelos cualitativos o simplificados para la evaluación de exposición inhalatoria por agentes químicos. Finalmente, una herramienta de evaluación cuantitativa de riesgos tecnológicos es el software Slab View (2015) desarrollado por la empresa Lakes Environmental como interfaz del modelo SLAB, el cual está actualmente distribuido y respaldado por EPA para descargas accidentales, que describe la dispersión de sustancias tóxicas más pesadas que el aire y que permite predecir zonas de alto riesgo cuando se generan emisiones accidentales de gases, como por ejemplo: fugas, explosiones y/o rompimiento de válvulas.

Indicadas las metodologías y herramientas anteriores, el objetivo general de este estudio consiste en realizar una evaluación cualitativa y cuantitativa del riesgo tecnológico que pueda ocasionarse hacia los trabajadores y la comunidad en las ciudades de Nacimiento, Cabrero, La Laja y Mulchén ubicadas en la Provincia del Biobío en



Chile, a causa de emisiones por fugas de gases accidentales desde fuentes de almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo (GLP).

Desarrollo metodológico

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el radio urbano de cuatro ciudades de la Provincia del Biobío: Cabrero, con una población de 21492 habitantes; La Laja, con una población de 17248 habitantes; Mulchén, con una población de 22950 habitantes y Nacimiento, con una población de 23049 habitantes según el censo aplicado en el año 2012 (INE, 2012). Específicamente el estudio se realizó en los sitios donde se almacena GLP en estanques superficiales y enterrados, en los cuales, en caso de una fuga accidental, el gas pueda dispersarse hacia los alrededores de las instalaciones con probabilidad de generar intoxicación o un peligro por deflagración.

Instrumentos y procedimientos

El estudio de análisis del riesgo, producto de una fuga accidental de GLP en cada ciudad se compuso de una parte cualitativa para cuyo desarrollo se emplearon dos metodologías, una es la metodología de análisis de riesgos del programa APELL (2015) y la otra correspondiente a la descrita en NTP 937 (2012). Una segunda parte de carácter cuantitativo fue elaborada bajo un modelo espacial y temporal para evidenciar el comportamiento de los gases fugados utilizando el software especializado Slab View (2015), donde para cada ciudad los resultados obtenidos fueron graficados y expresados bajo el nivel de riesgos y los estanques de GLP registrados fueron georreferenciados utilizando la herramienta Google Earth Pro®. El procedimiento de obtención de información fue de acuerdo con las etapas siguientes:

- Obtención de información sobre inventarios de estanques de GLP mediante consulta a Organismos del Estado: Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Ministerio de Energía, Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) y Ministerio de Salud (MINSAL).
- Obtención de la información mediante consulta a empresas ubicadas dentro del área de estudio en cuanto a la presencia de estanques de GLP en sus

instalaciones.

- Comprobación y complementación de la información de las etapas 1 y 2 mediante trabajo de terreno. Se llevó a cabo un recorrido por la zona urbana de cada una de las ciudades consideradas y en todos los sitios informados por las organizaciones previamente consultadas. A su vez, con la ayuda de un GPS marca Garmin, modelo GPSmap 62sc, se georreferenció la posición de los estanques de GLP identificados en coordenadas UTM para la posterior confección de un mapa de riesgo.

Evaluación cualitativa del riesgo por liberación accidental de GLP

Se utilizan la metodología de NTP 937 (2012) para determinar el riesgo por inhalación y la metodología APELL (2015) para evaluar los peligros a causa de una liberación de GLP.

i) NTP 937 (2012)

Basado en el método del Instituto Nacional de Investigación de Seguridad (INRS) de Francia, y publicado por el INSHT en la NTP 937 (2012), se evaluó el riesgo por inhalación hacia los trabajadores, producto de fugas accidentales de GLP desde las fuentes que lo almacenan e instalaciones que lo distribuyen dentro de la residencia.

Para la evaluación del riesgo por inhalación se consideró lo siguiente:

- Liberación de gas desde estanques de 2 m³ y 4 m³, para los puestos de trabajo ubicados en las cercanías del estanque en un radio de 100 m.
- La estimación del riesgo por inhalación toma en cuenta los siguientes aspectos: capacidad volumétrica de los estanques, puestos de trabajo y la frecuencia de utilización del gas en una jornada laboral.

Considerando que los procedimientos de trabajo se realizan en un medio dispersivo, donde el primer mecanismo de acción es el de ventilación, se efectuó una evaluación simplificada del riesgo considerando los procedimientos de trabajo, una simulación de gas denso y mecanismos de ventilación de acuerdo a la clasificación entregada por la metodología, donde se tomaron en cuenta las siguientes



variables: riesgo potencial, propiedades físico-químicas, procedimiento de trabajo, medios de protección colectivas (ventilación) y un factor de corrección ($F_{c_{VLA}}$) cuando el Valor Límite Ambiental (VLA) del agente químico fuese muy pequeño (inferior a 0.1 mg/m^3).

Para cada variable se debió establecer clases y una puntuación asociada a cada una de ellas. Por tanto, la puntuación del riesgo se obtuvo a partir de estas cuatro variables, más un factor de corrección que se aplicará para cada caso. En la Figura 1 se muestra el esquema a seguir.

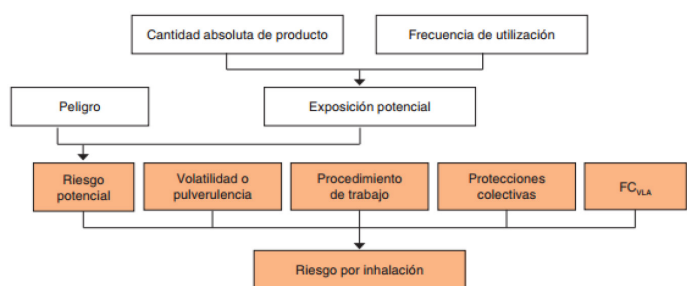


Figura 1: Esquema del modelo simplificado del riesgo por inhalación

De este modo, una vez obtenidas las puntuaciones de las clases de riesgo de cada variable, se calculó la puntuación del riesgo por inhalación a través de la siguiente fórmula (1):

$$P_{inh} = P_{riesgo\ pot} \times P_{volatilidad} \times P_{proced} \times P_{prot\ colec} \times FC_{VLA} \quad (1)$$

donde P_{inh} es el puntaje del riesgo por inhalación, $P_{riesgo\ pot}$ es el puntaje del riesgo potencial, $P_{volatilidad}$ es el puntaje de las características de volatilidad de la sustancia, P_{proced} es el puntaje según el procedimiento de utilización, $P_{prot\ colec}$ es el puntaje de la protección colectiva y FC_{VLA} es un factor de corrección del VLA. Para cada puntuación del riesgo

Tabla 1: Caracterización del riesgo por inhalación

Puntuación del riesgo por inhalación	Prioridad de acción	Caracterización del riesgo
> 1000	1	Riesgo probablemente muy elevado, necesita medidas correctoras inmediatas
> 100 y ≤ 1000	2	Riesgo moderado, necesita probablemente medidas correctoras y/o una evaluación más detallada (mediciones)
< 100	3	Riesgo a priori bajo (sin necesidad de modificaciones)

por inhalación obtenida en cada una de las situaciones, se caracterizó el nivel de riesgo según la Tabla 1, en riesgo a priori bajo, moderado o probablemente muy elevado.

ii) *Concientización y preparación para emergencias a nivel local (APELL, 2015)*

Para identificar y evaluar los peligros a causa de una liberación total del gas almacenado en estanques, se utiliza la metodología propuesta de APELL (2015) con la cual es posible distinguir aquellas fuentes que pueden afectar tanto a las personas como a la comunidad. Para el análisis se utilizan las clasificaciones de riesgos otorgadas por esta metodología, en cuanto a las consecuencias de un potencial accidente: Poco importantes (clase A), Limitadas (clase B), Graves (clase C), muy graves (clase D) y Catastróficas (clase E). Se consideraron aquellos objetos riesgosos que almacenen GLP con capacidades volumétricas de 2 m^3 y 4 m^3 para completar la identificación y evaluación de riesgos de acuerdo con los siguientes puntos:

- Localización de los objetos riesgosos.
- Tipos de operación y riesgos asociados.
- Zonas de riesgo y objetos amenazados al interior y exterior del sitio (personas).
- La asignación de un rango a los objetos de riesgos de acuerdo con la probabilidad de ocurrencia de un accidente y la estimación de sus consecuencias para las personas (Figura 2).

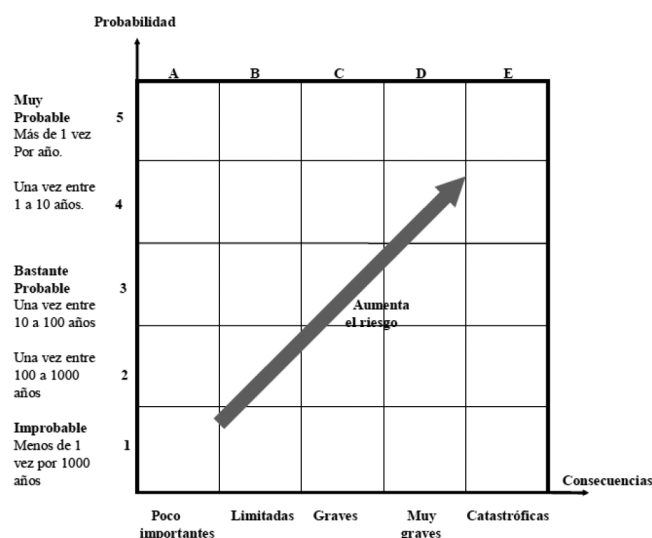


Figura 2: Matriz de riesgo APELL (2015) de probabilidad de ocurrencia de un accidente y la estimación de sus consecuencias para las personas



Se utiliza la matriz de riesgo entregada por la metodología APELL (2015) para poder clasificar las consecuencias de un potencial accidente, la velocidad en que se pueda desarrollar y la probabilidad de que este se materialice (Tablas 2, 3 y 4).

Tabla 2: Consecuencias para la vida y la salud (APELL, 2015)

Clase		Características
1	Poco importante	Padecimientos ligeros durante un tiempo.
2	Limitadas	Algunas lesiones, malestar que perdura.
3	Graves	Algunas heridas graves, serias complicaciones.
4	Muy graves	Algunas muertes (más de 5), varios heridos (20) de gravedad y hasta 500 evacuados.
5	Catastróficas	Varias muertes (más de 20), cientos de heridos graves y más de 500 evacuados.

Tabla 3: Velocidad de desarrollo (APELL, 2015)

Clase		Características
1	Advertencia precisa y anticipada	Efectos contenidos/ ningún efecto.
2	Media	Alguna propagación / pocos daños.
3	Sin advertencia	Desconocidos hasta que los efectos se han desarrollado completamente / efectos inmediatos (explosión).

Tabla 4. Probabilidad de ocurrencia (APELL, 2015)

Clase		Características
1	Improbable	Menos de una vez cada 1000 años.
2		Una vez cada 100 a 1000 años.
3	Bastante probable	Una vez cada 10 a 100 años.
4		Una vez cada 1 a 10 años.
5	Muy probable	Más de una vez por año

Los resultados obtenidos a través de la metodología APELL (2015) se incorporan al software Google Earth Pro® detallando para cada ciudad las ubicaciones de los estanques de GLP y el nivel de riesgo.

Evaluación cuantitativa del riesgo por liberación accidental de GLP

Se utiliza software Slab View (2015), datos meteorológicos, variables fisicoquímicas, concentraciones de referencia de

exposición humana y para deflagraciones del GLP.

i) Software Slab View (2015)

Para la modelación e identificación del comportamiento espacial y temporal de una fuga de GLP se requiere de una variada cantidad de datos los cuales fueron incorporados al software para su procesamiento. Los datos requeridos son los siguientes:

- Coordenadas georreferenciadas (UTM) de sitios para poder identificarlos en el software Google Earth Pro®.
- El radio estimado de afectación de la fuga en metros o kilómetros.
- Tipo de fuga. Para este estudio se considera que las fugas son de tipo horizontal.
- Propiedades fisicoquímicas del GLP.
- El tiempo de fuga. Se consideran tiempos de 60, 180 y 300 s y una liberación total del gas contenido en los estanques.
- Cantidad de la sustancia liberada. Se consideran liberaciones de 2 m³ y 4 m³.
- Tipos de estanques: aéreo, subterráneo o superficial.
- Topografía del terreno.
- Variables meteorológicas, tales como: velocidad del viento, temperatura y humedad del ambiente. Se consideran condiciones estivales e invernales.

La simulación mediante software Slab View (2015) no considera los terrenos complejos ni la existencia de barreras físicas en el área de dominio.

ii) Información meteorológica

El software Slab View (2015) requiere de datos meteorológicos para su procesamiento en la modelación de fugas de gas, tales como, la humedad relativa del ambiente, la velocidad del viento, dirección del viento y temperatura del ambiente. Estos datos son necesarios para poder distinguir y evidenciar la conducta posible que puede desarrollar una pluma producto de una fuga de gas, la cual queda registrada en la modelación del programa. A estas variables meteorológicas se les incorpora la estabilidad atmosférica, la que puede ser del tipo estable, neutra, inestable y muy inestable.



La serie temporal horaria de las condiciones atmosféricas utilizadas comprenden desde el 01 de enero del 2011, hasta el 31 de diciembre del 2015. La información meteorológica para los años 2013 y 2014 corresponde a la registrada en el portal web sinca.mma.gob.cl por las Estaciones Meteorológicas Oriente y 21 de Mayo de la ciudad de Los Ángeles, pertenecientes a la Sub Secretaría del Medio Ambiente. Los datos para los años 2011, 2012 y 2015, fueron facilitados por la Red Agroclima y se obtuvieron de la estación meteorológica Los Ángeles ubicada en la provincia del Biobío.

En cuanto a las condiciones climáticas, solo se considera para el estudio una condición atmosférica del tipo estable para los períodos estival e invernal (Tabla 5) puesto que el tiempo de permanencia del gas fugado se asume mayor que en una condición del tipo inestable en la cual los mayores flujos de viento favorecen la dispersión rápida del gas. También se considera la dirección de los vientos predominantes las que corresponden a 200° en verano y 180° en invierno (Figuras 3 y 4). Además, se ha tenido en consideración que las más bajas temperaturas en invierno mantienen al gas más cercano al nivel del piso a diferencia de las altas temperaturas de verano que facilitan que el gas ascienda más rápidamente y que por lo tanto se disipe.

Tabla 5: Promedio de las variables meteorológicas en invierno y verano

Estación del año	Temperatura, °C	Humedad Relativa, %	Velocidad del viento, m/s
Verano	19.35	59.20	2.60
Invierno	8.84	79.93	2.43

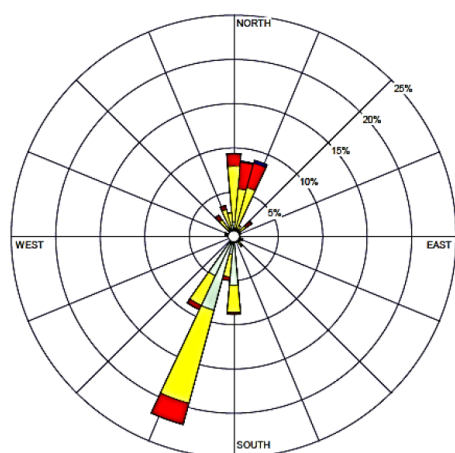


Figura 3: Distribución del viento en verano

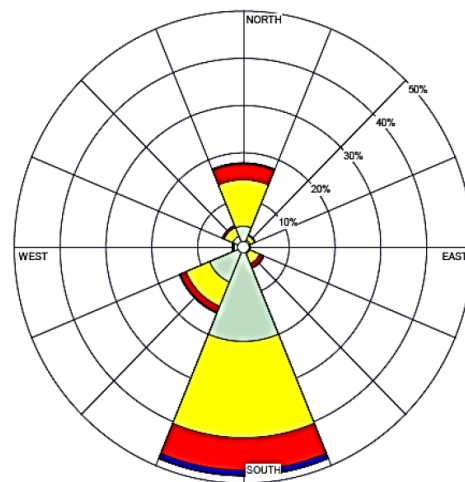


Figura 4. Distribución del viento en invierno

iii) Variables fisicoquímicas del GLP

Para poder realizar el modelamiento correspondiente a una fuga de GLP, se requiere de información específica de este hidrocarburo lo cual se obtuvo de Lipigas (2012) y AFROX (2020). Las variables fisicoquímicas consideradas se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6: Variables fisicoquímicas del GLP

Variables	Valor	Unidad
Peso molecular	44.09	g/mol
Calor específico (vapor)	1641.2	J/kg
Punto de ebullición	231.05	K
Calor de vaporización	4.004 x 10 ⁵	J/kg
Calor específico (líquido)	2430	J/kg
Densidad líquida	536	kg/m ³
Límite inferior de explosividad	1.9	%
Límite superior de explosividad	9.5	%

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

Para poder determinar los niveles de exposición y los daños que podría causar el GLP hacia la salud de los trabajadores, se utilizan los niveles de referencia de exposición aguda (AEGL: Acute Exposure Guideline Levels) publicados por la Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos (EPA, 2016). En los AEGL se describen los niveles de concentración de la exposición y el tiempo de permanencia para las personas (Tabla 7), además de la sintomatología que pueden ocasionar los diferentes niveles de exposición a GLP (Tabla 8). La clasificación se separa



en 3 niveles, siendo el nivel 1 el menos grave y el nivel 3 el más grave.

Tabla 7: Tiempos de exposición a diferentes concentraciones de GLP en ppm

Nivel	10 min	30 min	60 min	4 hr	8 hr
AEGL 1	10000	6900	5500	5500	5500
AEGL 2	24000	17000	17000	17000	17000
AEGL 3	77000	53000	53000	53000	53000

Tabla 8: Descripción de los síntomas por exposición a GLP

AEGL	Descripción de consecuencias
Nivel 1	Efectos no incapacitantes con molestias notables, irritación o ciertos efectos no sensoriales asintomáticos.
Nivel 2	Efectos adversos graves o irreversibles para la salud, impide la capacidad de escapar.
Nivel 3	Efectos sobre la salud que pueden poner en peligro la vida o provocar la muerte.

Para la nube de GLP se utiliza como referencia de exposición humana 10000 ppm de 10 min y como límite inferior de deflagración 19000 ppm, según el límite inferior de explosividad (Tabla 6).

Resultados

Almacenamiento de GLP

De la información obtenida de la SEC y de la verificación en el trabajo de campo se identifican 41 sitios de almacenamiento considerando las cuatro ciudades (Tabla 9). Estos estanques fueron clasificados según sus capacidades volumétricas.

Tabla 9: Sitios de almacenamiento

Ciudad	2 m ³	4 m ³	Número de sitios
Cabrero	4	6	10
La Laja	7	1	8
Mulchén	10	5	15
Nacimiento	6	2	8
Total			41

Los estanques con capacidades volumétricas de 4 m³, poseen uso casi exclusivo por parte de supermercados, centros educacionales, condominios residenciales, iglesias y hoteles. En cambio, los estanques de 2 m³ son utilizados

para actividades comerciales de bajo consumo y por el sector residencial particular. También en todas las ciudades hay presencia de estanques de capacidades volumétricas inferiores a 2 m³, pero estos no son parte del alcance de este estudio.

De la información obtenida de estos 41 sitios se obtiene que, para la ciudad de Cabrero un 40% corresponde a estanques de 2 m³, mientras que el 60% restante corresponde a estanques de 4 m³. Por otra parte, para la ciudad de La Laja es un 88% y 12%; para Mulchén es un 67% y 33% y para la comuna de Nacimiento se obtiene un 75% y 25% de los estanques estudiados corresponden a capacidades volumétricas de 2 y 4 m³, respectivamente.

Evaluación del riesgo por inhalación de GLP según NTP 937 (2012)

En la Tabla 10 se exponen los resultados obtenidos a partir de 9 puestos de trabajo. Se puede observar que puesto 6, correspondiente a Trabajador doméstico (asesora del hogar), obtiene la mayor puntuación de riesgo, caracterizándose con una exposición de riesgo moderado, necesitando probablemente medidas correctoras y/o evaluación más detallada, producto de la ausencia de ventilación mecánica.

Tabla 10: Caracterización del riesgo por inhalación de GLP

Nº	Puesto de trabajo	Puntuación del riesgo	Caracterización del riesgo
1	Conductor de carga/descarga de gas	700	Riesgo moderado
2	Ayudante de carga/descarga del gas	700	Riesgo moderado
3	Aseador de vías públicas	70	Riesgo a priori bajo
4	Guardia de seguridad	700	Riesgo moderado
5	Jardinero	700	Riesgo moderado
6	Trabajador doméstico	1000	Riesgo moderado
7	Profesional del área de la salud	700	Riesgo moderado
8	Profesional del área educacional	700	Riesgo moderado
9	Funcionarios de supermercados	700	Riesgo moderado

Cabe destacar que la utilización del GLP por parte de trabajador doméstico es de alrededor de 2 a 3 horas/día, por lo que su mayor puntaje radica en que se encuentra en



un ambiente cerrado con poca ventilación, a diferencia de los otros puestos de trabajo que laboran a la intemperie o alejados de la fuente de almacenamiento como por ejemplo el puesto de trabajo del aseador (a) de vías públicas, para el cual el tiempo de permanencia en un solo punto es bastante bajo debido a que debe estar en constante desplazamiento.

Metodología de identificación y evaluación de riesgos de APELL (2015)

Por medio de la metodología APELL (2015) se logra identificar y evaluar el riesgo por fuga en los 41 puntos de la Tabla 9. De acuerdo con los datos de la Tabla 11 se tiene que para la ciudad de Cabrero se consigue que el 80% de los objetos riesgosos (instalaciones de estanques de GLP) presentan una probabilidad de ocurrencia clase 3 (bastante probable), es decir, una frecuencia estimada de una vez entre 10 a 100 años aproximadamente en que pueda ocurrir una fuga de gas de dichos estanques. En el caso del 20% de las instalaciones restantes, estas presentan una probabilidad de ocurrencia de clase 2, cuya frecuencia estimada de fuga es de una vez entre 100 a 1000 años aproximadamente. Para la ciudad de La Laja se tiene que el 63% de las instalaciones corresponde a una probabilidad de ocurrencia clase 3 (bastante probable) y un 37% de las instalaciones registradas corresponde a una probabilidad de ocurrencia clase 2. Para la ciudad de Mulchén, se obtuvo que el 87% de las instalaciones corresponde a una probabilidad de ocurrencia clase 3 y un 13% de las instalaciones con probabilidad de ocurrencia clase 2. Finalmente, para la ciudad de Nacimiento, se consigue que el 88% de las instalaciones posee una probabilidad de ocurrencia clase 3 y un 12% de las instalaciones presentó una probabilidad de ocurrencia clase 2.

En cuanto a los resultados obtenidos para la clasificación del riesgo, estas se muestran en la Tabla 12. Para la ciudad de Cabrero se consigue que un 40% de los sitios posee una prioridad de tipo C, es decir, que pueden generar consecuencias graves tanto para la vida (personas y trabajadores) como a la propiedad y el medio ambiente. A su vez, el 60% de los sitios restantes posee una prioridad de riesgo tipo B, es decir, las posibles consecuencias para la vida, el medio ambiente o la propiedad son limitadas. Para la ciudad de La Laja se obtiene que un 50% de los sitios tienen una prioridad de tipo C y el otro 50% tiene

Tabla 11: Clasificación de la probabilidad de ocurrencia en las ciudades de Cabrero, La Laja, Mulchén y Nacimiento

Clase probabilidad	Frecuencia estimada	N° objetos Cabrero	N° objetos La Laja	N° objetos Mulchén	N° objetos Nacimiento
1. Improbable	Menos de una vez por 1000 años	0	0	0	0
2.	Una vez entre 100-1000 años	2	3	2	1
3. Bastante probable	Una vez entre 10-100 años	8	5	13	7
4.	Una vez entre 1-10 años	0	0	0	0
5. Muy probable	Más de una vez por año	0	0	0	0
Total		10	8	15	8

una prioridad de tipo B. Para la ciudad de Mulchén, un 53% de los sitios tienen una prioridad de tipo C, mientras que el 47% de los sitios tienen una prioridad de tipo B. Finalmente, para la clasificación del riesgo en la ciudad de Nacimiento se obtiene que el 50% de los sitios analizados corresponden a una prioridad de tipo C, mientras que el otro 50% de los sitios corresponden a una prioridad de tipo B. No se obtiene en el estudio sitios de almacenamiento de GLP con clasificación de prioridades con consecuencias poco importantes, muy graves ni catastróficas.

Tabla 12: Clasificación del riesgo según prioridad y consecuencia en las ciudades de Cabrero, La Laja, Mulchén y Nacimiento

Prioridad	Consecuencias	N° objetos Cabrero	N° objetos La Laja	N° objetos Mulchén	N° objetos Nacimiento
E	Catastróficas	0	0	0	0
D	Muy graves	0	0	0	0
C	Graves	4	4	8	4
B	Limitadas	6	4	7	4
A	Poco importantes	0	0	0	0
Total		10	8	15	8

A través del trabajo de terreno fue posible constatar que una destacable cantidad de sitios de prioridad C están relacionados con establecimientos educacionales y hospitales donde la presencia de trabajadores y de comunidad es alta (profesionales > 50, auxiliares > 10, guardias > 5, administrativos > 15, clientes > 100, docentes > 15, administración > 5, estudiantes > 500). También se



determina que los estanques de GLP con prioridad C y B representan sitios ubicados dentro del radio urbano de cada comuna y se encuentran rodeados por trabajadores y transeúntes que eventualmente podrían verse involucrados en un escenario de carácter riesgoso para su salud producto de una fuga de gas. Los mapas con las ubicaciones de los estanques para las comunas estudiadas: Cabrero, Laja, Nacimiento y Mulchén, se detallan en las Figura 5 a 8.

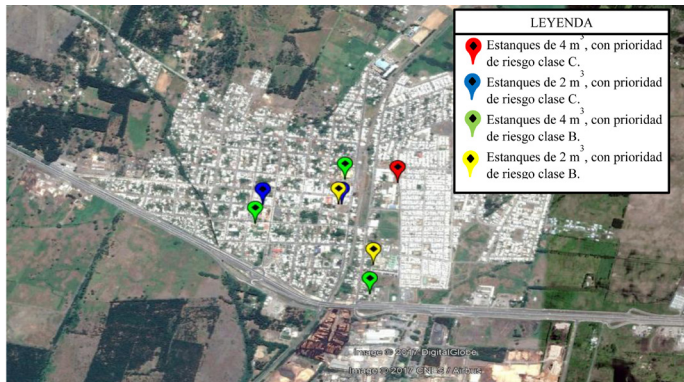


Figura 5: Ubicación de estanques de GLP, según la prioridad de riesgo para la comuna de Cabrero.

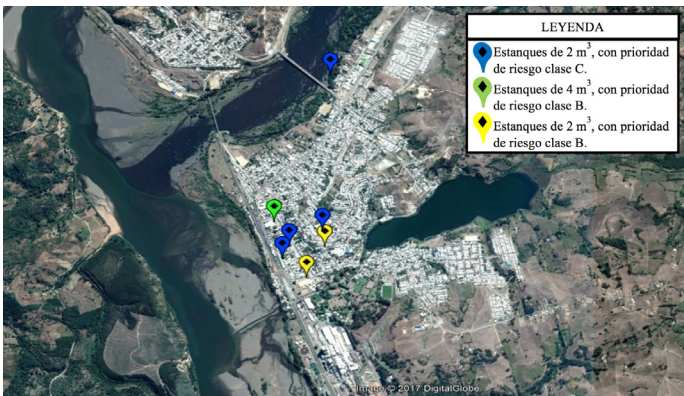


Figura 6: Ubicación de estanques de GLP, según la prioridad de riesgo para la comuna de La Laja.

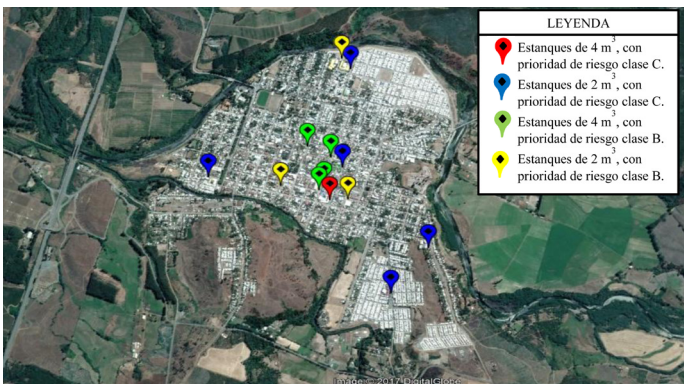


Figura 7: Ubicación de estanques de GLP, según la prioridad de riesgo para la comuna de Mulchén.

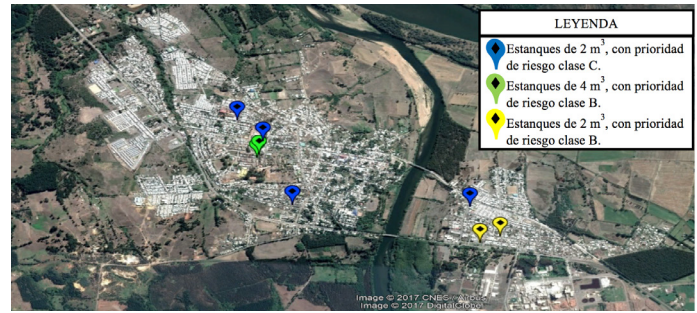
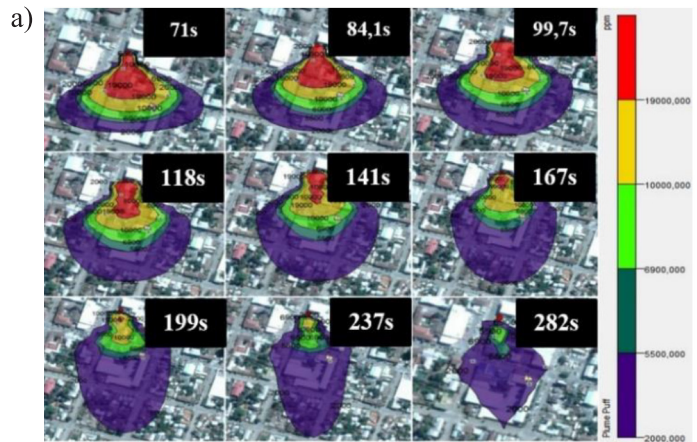


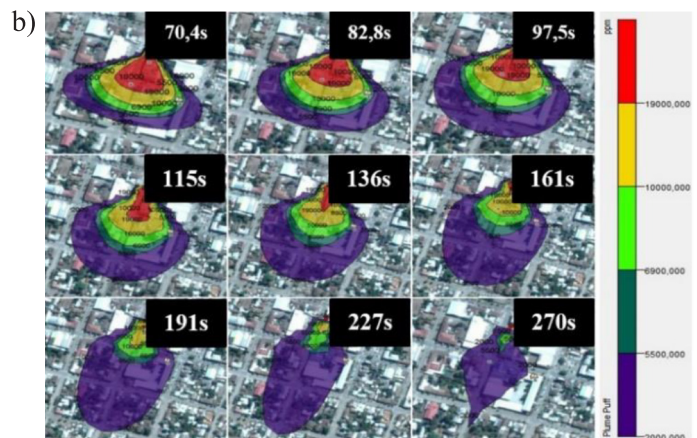
Figura 8: Ubicación de estanques de GLP, según la prioridad de riesgo para la comuna de Nacimiento

Modelación con Slab View de liberaciones de GLP con peligros de exposición aguda y deflagraciones

En la Figura 9 se observa que el comportamiento de las plumas en invierno y verano resultan ser muy similares, diferenciándose principalmente en la orientación temporal y espacial. En cuanto a la temporalidad de las

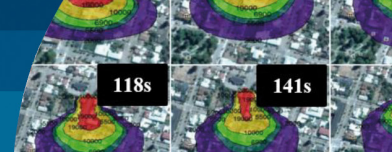


(invierno)



(verano)

Figura 9: Tiempo de permanencia para concentraciones de 19000 ppm para liberación desde un estanque de 4 m³ en: a) invierno y b) verano



concentraciones de GLP se observa que las concentraciones de 19000 y 10000 ppm perduran levemente más en invierno que en verano. Por ejemplo, para el caso de 19000 ppm perduran 3.3 min (199 s) en invierno y 3.2 min (191 s) en verano, considerando liberación desde un estanque de 4 m³ (Figura 9). La orientación espacial es resultado de los vientos predominantes considerados.

Considerando que en invierno se genera la condición de seguridad más desfavorable, a continuación, se muestran los resultados obtenidos para las modelaciones de liberaciones de GLP desde estanques de 2 m³ y 4 m³ en los intervalos de tiempo de 60, 180 y 300 s (Figuras 10 a 12). Se obtienen superficies mayores con concentraciones más altas en la liberación de 60 s para estanque de 4 m³ y una mayor dispersión para una liberación de 300 s desde estanque de 2 m³.

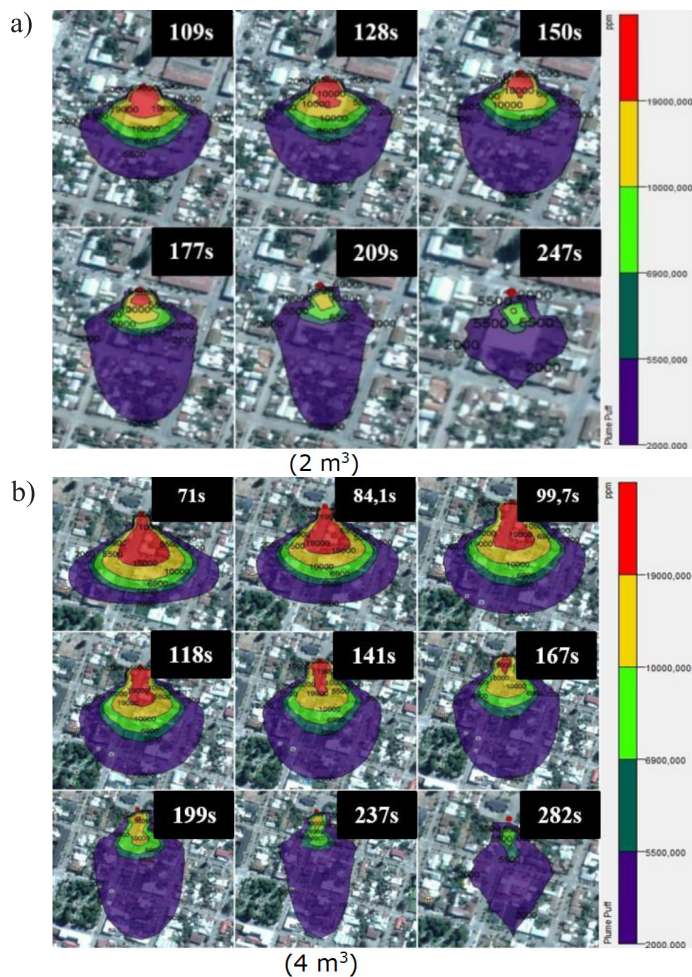


Figura 10: Permanencia de una fuga de GLP en 60 s en una condición estable de invierno para un estanque de: a) 2 m³ y b) 4 m³

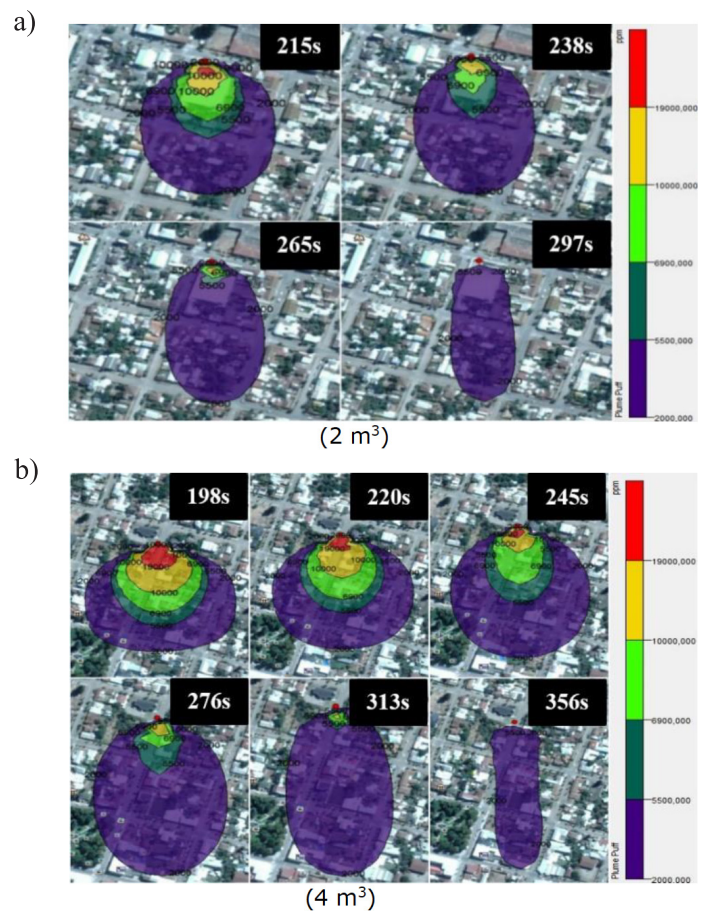


Figura 11: Permanencia de una fuga de GLP en 180 s en una condición estable de invierno para un estanque de: a) 2 m³ y b) 4 m³

La representación sobre zona urbana es genérica, ya que la idea de las Figuras 9 a 12 es solo representar la dinámica de las concentraciones de acuerdo al tiempo de permanencia del gas y no un peligro específico en algún lugar.

La dinámica del comportamiento de las plumas para las concentraciones de 19000 ppm y 10000 ppm para liberaciones desde estanques se muestra en las Figuras 13 y 14, respectivamente. Se determina que la mayor distancia alcanzada para concentraciones de 19000 ppm fue de 87 m a los 71 s para estanque de 4 m³ en invierno y de 50 m a los 109 s para estanque de 2 m³ en verano (Figura 13). Para las concentraciones de 10000 ppm se registraron las distancias de 112 m a los 71 s para estanque de 4 m³ en invierno y 67 m a los 109 s para estanque de 2 m³ en verano (Figura 14).

Se determina también que en invierno se mantienen las concentraciones de 19000 ppm y 10000 ppm por tiempos mayores, alcanzando tiempos que oscilan respectivamente entre 209 a 237 s (Figura 13) y 258 a 290 s (Figura 14) para estanques de 4 m³.

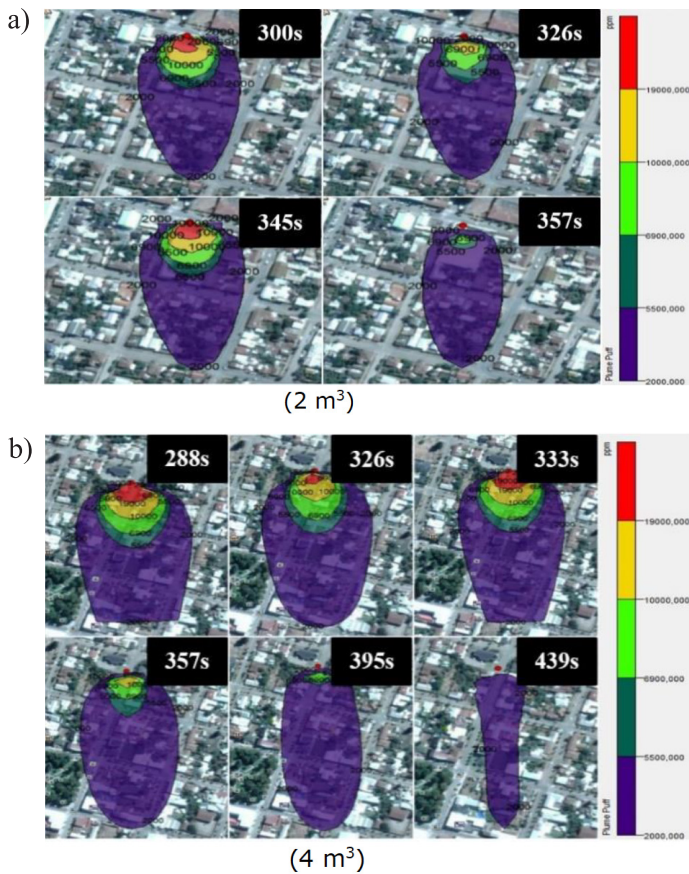


Figura 12: Permanencia de una fuga de GLP en 300 s en una condición estable de invierno para un estanque de: a) 2 m³ y b) 4 m³

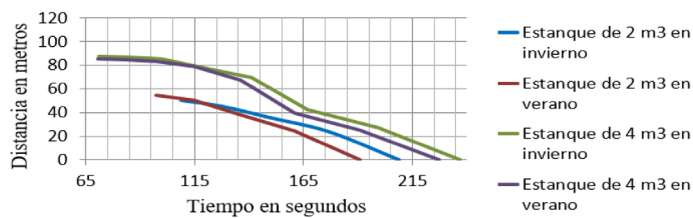


Figura 13: Distancias máximas y mínimas alcanzadas para concentraciones de 19000 ppm

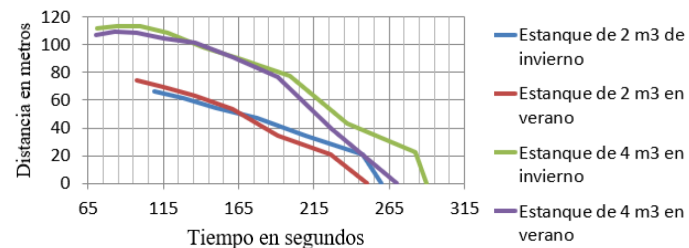


Figura 14: Distancias máximas y mínimas alcanzadas para concentraciones de 10000 ppm

De acuerdo con la dinámica del comportamiento de las nubes modeladas, se genera un riesgo de deflagración, por concentraciones de 19000 ppm, en todo sitio donde se fugue GLP cuyos valores tiempo - distancia se encuentren en el área bajo las curvas generadas que se muestran en la Figura 13. Por su parte, las situaciones bajo el área de las curvas de la Figura 14 muestran que no hay riesgos (efectos no incapacitantes con molestias notables, irritación o ciertos efectos no sensoriales asintomáticos) de la Tabla 8 para los trabajadores ni la comunidad por fuga de GLP, puesto que no hay una exposición de al menos 10 min según los tiempos establecidos por AEGL (EPA, 2016).

Debe tenerse en consideración que una positiva medida de control que se utiliza actualmente para reducir riesgos asociados a peligros por presencia de GLP en el ambiente es la odorización del gas mediante la incorporación a este de componentes con olor pronunciado y específico, lo que permite, a quien lo detecte, que tome medidas para detener una fuga o que actúe frente a una situación emergencia.

Conclusiones

De la información analizada y los resultados obtenidos, sobre los riesgos por inhalación, la clasificación del riesgo y las modelaciones efectuadas para fugas de gases desde estanques de GLP, se puede concluir lo siguiente:

Para el análisis realizado en cuatro ciudades Nacimiento, Cabrero, La Laja y Mulchén, el mayor número de sitios u objetos riesgosos se encuentran en la comuna de Mulchén.

El riesgo por inhalación en los puestos de trabajo que poseen una mayor relación con el uso del GLP es mayormente de nivel moderado, por lo que se necesita probablemente de medidas correctoras y/o una evaluación más detallada para cada caso.

Como se muestra en los mapas georreferenciados, las cuatro ciudades presentan sitios con un potencial riesgo grave como consecuencia de una fuga de GLP, lo que dependiendo de la concentración del gas podría ocasionar algunas heridas graves y serias complicaciones a trabajadores o personas de la comunidad.

Identificar y posicionar los estanques de GLP en mapas georreferenciados puede facilitar el trabajo de los servicios y comités de emergencia.



El tiempo de fuga para cada estanque resultó ser más representativo para fugas de 60 s, debido a que la evacuación del gas ocurre mucho más rápido que en estanques con liberaciones de 180 y 300 s. Para los casos en que la fuga tarde más, el contenido será liberado más lentamente, generando una dispersión natural por el medio ambiente y un registro menor de las concentraciones.

En las modelaciones realizadas con el programa Slab View (2015), se determinó que no existe riesgo por intoxicación debido a que los tiempos de exposición para concentración de 10000 ppm son menores a los indicados por los niveles AEGL (EPA, 2016).

Existen situaciones tiempo-distancia en donde se alcanzan concentraciones de 19000 ppm que podrían ocasionar deflagraciones y una eventual explosión.

La estabilidad atmosférica regula el comportamiento de la pluma de GLP siendo la estabilidad atmosférica “estable” y las menores temperaturas, en la estación de invierno, la condición más peligrosa.

Agradecimientos

Los autores agradecen particularmente a la Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo de la Universidad de Concepción 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.

Referencias

AFROX (2020). Product reference manual - Liquefied Petroleum Gas. South Africa

Alfayate, J., González, M., Orozco, C., Pérez, A. y Rodríguez, F. (2004). *Contaminación Ambiental: Una visión desde la química*. Ediciones Paraninfo S.A. Madrid, España, 19-27

APELL (2015). Awareness and preparedness for emergencies at local level (APELL). Handbook. Second edition. United Nations Environment Programme UNEP, Geneva, Switzerland

Carrari, C.L., Aparicio, L.V., Bandoni, J.A. y Tonelli, S.M. (2004). Utilización de modelos de dispersión atmosférica para la estimación de dosis de exposición. *Mecánica Computacional* 23, 1743-1759

Cooperativa (2018, 21 de abril). Balance tras explosión en Sanatorio Alemán: Tres muertos y 46 heridos, uno en riesgo vital. <https://www.cooperativa.cl/noticias/pais/policial/balance-tras-explosion-en-sanatorio-aleman-tres-muertos-y-46-heridos/2018-04-21/162817.html> (18/06/2020)

Emol (2016, 10 de diciembre). Cilindros de gas explotaron en la ruta 68 luego de que el camión que los transportaba volcara a la altura de A. Vespucio. <http://www.emol.com/noticias/Nacional/2016/12/10/834931/Camioncargado-con-cilindros-de-gas-volco-en-la-Ruta-68-generando-un-incendio.html> (18/06/2020)

EPA (2016). Acute exposure guideline levels (AEGLs) - butane and propane. United States Environmental Protection Agency EPA, Washington, USA

García, J. (1999). Plan de emergencia contra derrames y fugas de productos químicos peligrosos. *Mapfre Seguridad* 75: 3-13

Lipigas (2012). Hoja de datos de seguridad de GLP. Empresa Lipigas S.A

López-Molina, A., Vázquez-Román, R y Díaz-Ovalle, C. (2012). Aprendizajes del accidente de San Juan Ixhuatepec-México. *Información Tecnológica* 23(6), 121-128

NTP 937 (2012). Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III). Método basado en el INRS. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo INSHT, Madrid, España

Otero, A. (2001). *Medio Ambiente y educación: Capacitación en educación ambiental para docentes*. Novedades educativas, México

PNUMA (2017). Acerca de PNUMA/ORPALC. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA. <http://web.unep.org/es/rolac/acerca-del-pnumaorpalc> (18/06/2020)

SLAB View (2015). Emergency release dense gas model. v.5.2. Lakes Environmental, Waterloo, Ontario, Canada. <https://www.weblakes.com/software/emergency-release/slab-view/>