

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
CAMPUS LOS ÁNGELES
ESCUELA DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA VEGETAL**



**MODELACIÓN DE RIESGOS HACIA LOS TRABAJADORES Y LA
COMUNIDAD POR FUGAS DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO,
UTILIZANDO SOFTWARE SLAB VIEW EN LA CIUDAD DE LOS
ÁNGELES**

Profesor Guía: Adrián Silva Fernández
Magíster en Gestión Integrada:
Medio Ambiente, Riesgos
Laborales y Responsabilidad
Social en la Industria.

Profesora Co-Guía: Margarita Barrandeguy Haro
Master en Gestión y Auditorías
Ambientales.

**SEMINARIO DE TÍTULACIÓN PARA
OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO EN
PREVENCIÓN DE RIESGOS**

**JAVIER ANDRÉS QUINTANA ALARCÓN
LOS ÁNGELES-CHILE**

2016

**MODELACIÓN DE RIESGOS HACIA LOS TRABAJADORES Y LA
COMUNIDAD POR FUGAS DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO,
UTILIZANDO SOFTWARE SLAB VIEW EN LA CIUDAD DE LOS
ÁNGELES.**

Profesor Guía

Adrián Silva Fernández
Profesor Asistente
Ingeniero Ambiental
Magíster en Gestión Integrada:
Medio Ambiente, Riesgos
Laborales y Responsabilidad
Social en la Industria

Profesor Co-Guía

Margarita Barrandeguy Haro
Profesor Asistente
Master en Gestión y Auditorías
Ambientales

Jefe de Carrera

Juan Patricio Sandoval Urrea
Profesor Asistente
Ingeniero de Ejecución Forestal
Magíster en Ergonomía

Director de Departamento

Pablo Novoa Barra
Profesor Asistente
Ingeniero de Ejecución Forestal
Magíster en Ciencias Forestales
Magíster en Ergonomía

Dedicatoria

Dedicado a mi Padre Armando Manuel Quintana Godoy quien desde el cielo me guarda y guía mis pasos para enfrentar la vida con perseverancia, responsabilidad y compromiso. Te amo papá.



AGRADECIMIENTOS

Por sobre todo y de forma sincera, agradecer a mi familia que me brindó su apoyo de forma incondicional durante todo mi proceso de formación, gracias a mi madre Vidalita Alarcón por la preocupación, el cariño, la atención y comprensión en los momentos de estrés, a mi hermana Karen Quintana por confiar en mí y permitir mi estabilidad en esta nueva ciudad, facilitar las herramientas para completar mis estudios y por sobre todo, el amor de hermanos que a pesar de estar separados por grandes distancias permanecemos siempre unidos.

A las personas que conocí durante estos 6 años, Cristóbal, Ricardo, Danny, Iván, Daniel y Roberto que siendo desconocidos pasaron a ser parte de una sólida amistad conformada en la hermandad del “LAD”. A mis amigas Paulina, Camila, Danna y mis “Ratas” Katherine y Consuelo que de una u otra manera me entregaron apoyo, cariño, atención, preocupación (por mis cumpleaños), regalos, momentos felices y variadas celebraciones.

Agradecer al Profesor Adrián Silva por su invitación a formar parte de este proyecto y confiar en mis capacidades, su disposición a resolver mis dudas y el tremendo compromiso frente a los problemas a lo largo del desarrollo de este estudio; a la Profesora Margarita Barrandeguy por la dedicación en las correcciones, comentarios y mejoras de este escrito.

Y, agradecer a todas las personas que de una u otra manera formaron parte de esta experiencia en la Universidad de Concepción.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	9
II. MATERIALES Y MÉTODOS	14
2.1 Área de estudio	14
2.2 Tipo de estudio.....	14
2.3 Instrumentos y procedimientos	16
2.3.1 Información Meteorológica.....	16
2.3.2 Variables fisicoquímicas del GLP.....	18
2.3.3 Niveles de referencia de exposición aguda y deflagraciones para sustancias químicas	19
2.3.4 Software especializado Slab View	20
2.3.5 Mapa georreferenciado.....	21
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
3.1 Variables Meteorológicas	22
3.2 Variables fisicoquímicas del GLP.....	24
3.3 Comportamiento espacial y temporal estacional de fugas de GLP	24
3.4 Condiciones del peor escenario en la emisión de GLP	27
3.5 Mapas georreferenciados de escenarios más desfavorables	29
3.6 Propuesta de acciones de Prevención de Riesgos.....	34
3.6.1 Plan de emergencia para trabajadores.....	35
3.6.2 Plan de emergencia para la comunidad.....	36
IV. CONCLUSIONES.....	37
V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
VI. ANEXOS.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Objetos y coordenadas de riesgos clase C.....	15
Tabla 2. Objetos y coordenadas de riesgos clase D.....	16
Tabla 3. Resumen de variables meteorológicas registradas	17
Tabla 4. Ubicación de estaciones Oriente, 21 de Mayo y Los Ángeles	18
Tabla 5. Resumen de variables fisicoquímicas del GLP	19
Tabla 6. Niveles de concentración de exposición para el GLP	19
Tabla 7. Descripción de los niveles de referencia de exposición aguda.....	20
Tabla 8. Promedios estacionales de variables meteorológicas	22
Tabla 9. Dirección del viento predominante para cada estación del año.....	23



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución del viento en verano (a), otoño (b), invierno (c) y primavera (d)	23
Figura 2. Detección, inicio y término de concentraciones por estaciones del año en condiciones atmosféricas inestables y estables.....	25
Figura 3. Comportamiento de la nube posterior a fuga de 60 segundos, estación invierno, condición estable	26
Figura 4. Comportamiento de la nube posterior a fuga de 60 segundos, estación de invierno, condición inestable	26
Figura 5. Comportamiento de la nube en una fuga de 300 segundos, estación de primavera, condición inestable	27
Figura 6. Comportamiento de la nube con temperaturas de -3,05 °C (a) y 37,18 ° C (b)	28
Figura 7. Distancia en el tiempo, a) estanque de 2m ³ , b) estanque de 4m ³ , c) estanque de 11m ³ y d) estanque de 49m ³ , fuga de 60 segundos.....	31
Figura 8. Concentración en el tiempo, a) estanque de 2m ³ , b) estanque de 4m ³ , c) estanque de 11m ³ y d) estanque de 49m ³	33

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Variables Físicoquímicas del GLP.....	41
Anexo 2: Frecuencia de distribución de los vientos de invierno.	42
Anexo 3: Mapas georreferenciado de las modelaciones realizadas con software Slab View del peor escenario.	43



I. INTRODUCCIÓN

Cada vez, los sectores industriales y urbanos se encuentran más próximos entre sí, a menudo esto provoca que los habitantes de dichos sectores reflexionen sobre los procesos de producción, si utilizan algún tipo de sustancias tóxica y/o peligrosa, ¿qué podría suceder en caso de alguna fuga?, ¿se cuenta con la capacidad suficiente para informar y actuar de forma oportuna en caso de evacuación? y, de ser así, ¿hacia dónde se tendría que dirigir? (Sarmiento, Ortiz y Álvarez, 2003).

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, una fuga no controlada, presencia de incendios o igniciones, y a pesar de las técnicas y medidas preventivas adoptadas, 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 (Carrari, Aparicio, Bandoni, Tonelli, 2004). Uno de los casos más emblemáticos a nivel internacional, fue el ocurrido en Ufa, Rusia, el 4 de junio de 1989, 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 opuesto 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 (Peña, 2014). En Chile también se pueden encontrar una gran variedad de accidentes relacionados con la fuga de gas, uno de ellos es el ocurrido en 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 de 500 metros a la redonda, tres personas resultaron heridas y con serias quemaduras

(Emol, 2013). 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 lo consumió totalmente, dejando a 140 locatarios con pérdidas totales (González, 2016).

En las últimas décadas se ha incrementado de manera importante la atención a los riesgos derivados de estos accidentes, debido a que en un momento determinado, hubo la percepción de que la frecuencia de desastres reportados iba en aumento. No obstante, a pesar de los esfuerzos realizados para mitigar los riesgos e incrementar el conocimiento de los mismos, su evaluación y la reducción de su impacto continúa siendo un reto científico, ya que es una disciplina en la que todavía existen numerosas incógnitas. Las liberaciones fortuitas de gases, como el GLP, muestran la necesidad de la predicción de los accidentes para disminuir el grado de afectación (Villafañe, 2013).

La utilización de gases licuados, ha aumentado considerablemente y se espera que siga en tendencia en los próximos años (Annual Energy Outlook, 2009). El presente estudio se orienta en el GLP, siendo éste potencialmente peligroso si se manipula incorrectamente, pero un excelente combustible, ecológico y versátil, que cuenta con millones de consumidores por todo el mundo (Jiménez, 2005), preferido para muchas aplicaciones en diversos sectores como el transporte, la industria, la agricultura, la calefacción doméstica, entre muchos más (Villafañe, 2013).

En el estudio de Silva et al., (2016), realizado en la zona urbana de Los Ángeles, Chile, se evaluaron los riesgos hacia los trabajadores y la comunidad, a causa de liberaciones accidentales de GLP, a través del Programa de Concientización y Preparación para Emergencias a Nivel Local (APELL), obteniendo 23 objetos en nivel de riesgo clase C (Grave); es decir, que en caso de una fuga accidental, ésta 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.

La estimación de la concentración de un gas en dispersión en el espacio, proviene de la solución de la ecuación de difusividad convectiva (Crowl y Louvar, 2002). La solución analítica del modelo de dispersión es compleja y su aplicación se dificulta por la falta de valores correctos del coeficiente de difusividad respecto a las coordenadas espaciales y el tiempo. Por esta razón, han sido desarrollados varios modelos para evitar el uso del coeficiente de difusividad (Díaz, Vázquez, y Sam, 2009).

Las características de la sustancia liberada a la atmósfera (densidad, temperatura y presencia de gotas) determinan el comportamiento de la nube formada. Los gases que tienen características de sustentación similares a las del aire son denominados "neutros" y para predecir su dispersión se utiliza un modelo gaussiano. En este modelo, el viento y la turbulencia atmosférica son las fuerzas que mueven las moléculas del gas a través del aire. Así, la nube es arrastrada en la dirección del viento formando una pluma. Cuando se derrama un gas "denso", es decir, un gas cuya densidad es mayor que la del aire o se encuentra a muy baja temperatura, el comportamiento inicial difiere sustancialmente del de un gas neutro. En un primer momento, el gas se desploma debido a que es más pesado que el aire que lo rodea. La nube se desplaza en la dirección del viento, extendiéndose debido a la gravedad. Más adelante, en la dirección del viento, la nube se diluye, su densidad se aproxima a la del aire y se comporta como gas neutro (Carrari, Aparicio, Bandoni y Tonelli, 2004).

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 (Ermak, 1990).

Las modificaciones introducidas por Ermak y Chan (1982 y 1988) en el programa informático permiten tratar también nubes instantáneas, de duración finita, procedente de fugas superficiales a nivel de suelo y flujos tipo jet. El programa también puede describir el comportamiento de nubes ligeras o neutras. Las fugas instantáneas son consideradas como entradas de gas denso a la atmósfera durante un pequeño intervalo de tiempo. Por lo tanto, existe cierta limitación en caso de fugas muy rápidas, como por ejemplo, a partir de una rotura catastrófica de un tanque (Ermak, 1990 y Doval, 2003).

El software Slab View es uno de los modelos recomendados por la Environmental Protection Agency de Estados Unidos (EPA US) para simular modelos de dispersión de gases más densos que el aire, manejando distintas situaciones de fugas, las que incluye fugas a nivel del suelo, fugas elevadas o verticales, vaporización de derrames y fugas instantáneas. El software posee una interfaz completamente gráfica, de manejo intuitivo y muy amigable con el usuario, que permite exportar los resultados a Google Earth Pro®, proporcionando una imagen más realista sobre el área del impacto, la cual entrega información de duración en el tiempo, extensión de la nube, concentración en el tiempo y distancia.

El objetivo general de este estudio fue realizar una evaluación cuantitativa de riesgos del impacto que pueda ocasionarse hacia los trabajadores y la comunidad, en la ciudad de Los Ángeles, por eventuales fugas accidentales desde fuentes de almacenamiento de gas licuado de petróleo. Lo anterior como continuación del trabajo de Silva et al. (2016), y como objetivos específicos se establece; i) Determinar el comportamiento espacial y temporal estacional de la

concentración de GLP que tendrían las liberaciones accidentales, ii) Establecer el comportamiento espacial y temporal bajo condiciones ambientales del peor escenario en la emisión de GLP para los casos considerados; iii) Representar en mapas georreferenciados los escenarios más desfavorables y iv) Elaborar una propuesta de acciones de prevención de riesgos hacia los trabajadores y la comunidad en aquellas situaciones que lo requieran.



II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

El estudio se realizó en la zona urbana de la ciudad de Los Ángeles, con una población de 136.921 habitantes según el censo aplicado el año 2012 (INE, 2012), concretamente en puntos donde se manipulen, almacenen y/o transporten GLP, en los cuales al producirse una liberación accidental, puedan generarse intoxicaciones y/o deflagraciones con repercusiones negativas para los trabajadores y la comunidad.

2.2 Tipo de estudio

El presente estudio se enmarca dentro de un diseño cuasi-experimental de tipo descriptivo, transversal, enfocado en el riesgo hacia los trabajadores y la comunidad en caso de liberaciones accidentales de GLP, utilizando variables cuantitativas.

Criterios de inclusión

Los puntos considerados serán los categorizados con riesgo de clase C (Tabla 1) y D (Tabla 2) según la metodología APELL aplicada en el estudio “Riesgos hacia los trabajadores y la comunidad por liberaciones accidentales de gases densos peligrosos en la ciudad de Los Ángeles” (Silva et al., 2016).

Tabla 1. Objetos y coordenadas de riesgos clase C

N°	Objeto	Coordenadas UTM WGS 84 Huso18
1	Tienda de Materiales de construcción	0735725 O, 5849927 S
2	Restaurante	0734182 O, 5849878 S
3	Maestranza	0732018 O, 5848982 S
4	Clínica	0733990 O, 5849174 S
5	Villa	0732694 O, 5849249 S
6	Centro Educacional	0736307 O, 5852607 S
7	Centro Educacional	0733773 O, 5848860 S
8	Centro Educacional	0734153 O, 5848867 S
9	Centro Educacional	0734515 O, 5851185 S
10	Centro de Acogida	0734298 O, 5851286 S
11	Centro Educacional	0736295 O, 5852611 S
12	Villa	0734675 O, 5850626 S
13	Fábrica de Alimentos	0736155 O, 5851578 S
14	Villa	0735744 O, 5849640 S
15	Iglesia	0735336 O, 5849787 S
16	Laminadora de Maderas	0734359 O, 5857418 S
17	Servicentro/ Restaurante	0736405 O, 5852859 S
18	Villa	0732568 O, 5849031 S
19	Supermercado	0734853 O, 5847644 S
20	Centro Educacional	0734155 O, 5848281 S
21	Centro Educacional	0732814 O, 5849702 S
22	Distribuidora de Gas	0736372 O, 5848047 S
23	Fabricación de Azúcar	0733217 O, 5848425 S

Tabla 2. Objetos y coordenadas de riesgos clase D

N°	Objeto	Coordenadas UTM WGS 84 Huso18
1	Distribuidoras de Gas	0736350 O, 5848000 S
2	Distribuidoras de Gas	0735482 O, 5851908 S
3	Distribuidoras de Gas	0735467 O, 5851911 S

2.3 Instrumentos y procedimientos

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 procesado 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 como referencia los niveles de referencia de exposición aguda para sustancias químicas (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 en mapas georreferenciados utilizando la herramienta de Google Earth Pro®, para lo cual se realizó el siguiente procedimiento:

2.3.1 Información Meteorológica

Slab View requiere ser alimentado con datos meteorológicos en su funcionamiento, debido a esto es necesario obtener registros y graficar estas variables a través de Excel, con la finalidad de realizar una revisión e identificar posibles datos anómalos o discontinuidades presentes en las series temporales de datos, los que al ser detectados se corrigieron a través de interpolación, función promedio y ajustes de rectas, considerando series de datos similares de días o años anteriores y/o posteriores. Para variables relacionadas con la

velocidad y dirección del viento, fueron procesados a través de Wrplot, software especializado en realizar diagramas y gráficas de rosas de los vientos.

La serie temporal de las condiciones atmosféricas están comprendidas desde el 01 de enero del 2011, hasta el 31 de diciembre del 2015, los datos para cada una de las variables fueron registrados en periodos de una hora. Las variables meteorológicas registradas se detallan en el Tabla 3.

Tabla 3. Resumen de variables meteorológicas registradas

Variable	Especificación	Unidad
Viento	Dirección	Grados (°)
	Velocidad	Metros por segundo (m/s)
Temperatura del aire	Atmosférica	Grados centígrados (°C)
Humedad relativa	Atmosférica	Porcentual (%)
Precipitaciones	Atmosféricas	Milímetros (mm)

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 Sub Secretaría del Medio Ambiente, cuyas coordenadas UTM WSG 84 Huso 18 de localización se muestra en el Tabla 4, de dichas estaciones se recopilieron datos para los años 2013 y 2014. Para los datos referentes a los años 2011, 2012 y 2015, fueron solicitados a la Red Agroclima, red constituida a partir de un convenio de colaboración de instituciones, destacando a la Fundación para el Desarrollo Frutícola (FDF), el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) y la Dirección Meteorológica de Chile (DMC); organización que facilitó datos de la estación meteorológica Los Ángeles, ubicada en la provincia del Bío Bío, coordenadas UTM WGS 84 Huso 18 se muestran en el Tabla 4.

Tabla 4. Ubicación de estaciones Oriente, 21 de Mayo y Los Ángeles

Estación	Coordenadas UTM WGS 84
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.

2.3.2 Variables fisicoquímicas del GLP

Para la aplicación del software SlabView se necesitaron datos específicos del GLP, se solicitó información a empresas que se desarrollan en el rubro de producción, almacenamiento y/o transporte de GLP, las cuales fueron Gasco, Abastible, Lipigas y Uligas, también se revisaron Hojas de Datos de Seguridad (HDS). También se consultó literatura especializada como libros de combustibles alternativos e ingeniería química y páginas web dedicadas al uso, manejo y distribución de GLP como por ejemplo AFROX. Las variables fisicoquímicas requeridas se muestran en el Tabla 5.

Tabla 5. Resumen de variables fisicoquímicas del GLP

VARIABLES	UNIDAD
Peso Molecular	Gramos por mol (g/mol)
Calor Especifico (Vapor)	Joule por kilogramo (J/kg-k)
Punto de Ebullición	Grados Kelvin (°K)
Calor de Vaporización	Joule por kilogramo (J/kg)
Calor Especifico (Líquido)	Joule por kilogramo (J/kg-k)
Densidad Líquida	Kilogramo por metro cúbico (kg/m ³)
Límite inferior y superior de explosividad	Porcentual (%)

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

Para evaluar si las concentraciones existentes en la liberación puedan causar efectos en la salud y/o provocar deflagraciones, se utilizaron los estándares de niveles de exposición aguda (AEGL en sus siglas en ingles), pertenecientes a la EPA (Tabla 6), que establece el tiempo que una persona puede estar expuesta a concentraciones de GLP. Los efectos en la salud que puede provocar la exposición, se clasifica en 3 niveles (Tabla 7), siendo 1 el menos y 3 el más grave. Los AEGL se destacan por ser un estándar de colaboración mundial, con aportes de sectores públicos y privados, utilizados por servicios de emergencias en derrames, fugas u otras exposiciones catastróficas.

Tabla 6. Niveles de concentración de exposición para el GLP

	Tiempo				
	10 min	30 min	60 min	4 hr	8hr
AEGL 1	10.000ppm	6.900ppm	5.500ppm	5.500ppm	5.500ppm
AEGL 2	24.000ppm	17.000ppm	17.000ppm	17.000ppm	17.000ppm
AEGL 3	77.000ppm	53.000ppm	53.000ppm	53.000ppm	53.000ppm

Tabla 7. Descripción de los niveles de referencia de exposición aguda

AEGL	Descripción de consecuencias
1	Molestias notables, irritación o ciertos efectos no sensoriales asintomáticos. Sin embargo, los efectos no son incapacitantes y son transitorios y reversibles tras la interrupción de la exposición.
2	Efectos adversos graves o irreversibles para la salud, impide la capacidad de escapar.
3	Efectos sobre la salud que pueden poner en peligro la vida o provocar la muerte.

2.3.4 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 expresado en metros o kilómetros, pudiendo ser visualizado con Google Earth Pro®. Se debe especificar el tipo de fuga, que para motivos de este estudio, solo serán consideradas fugas de tipo horizontal. Luego de incorporadas las propiedades fisicoquímicas, se deben definir los parámetros de fuga, estas serán variables con las cuales se evaluará el comportamiento de la pluma, como el tiempo de fuga, el cual variará en rangos de minutos (1, 3 y 5), cantidad de sustancia liberada, considerando una liberación total del estanque, cuyas cantidades están definidas según su categorización, para los estanques categorizados en clase C, las cantidades corresponden a 2m³ y 4m³, y para estanques de clase D 11m³ y 49m³, en los casos donde exista más de un estanque, solo se considera la fuga de un estanque. Posterior a esto, se deberá especificar la tipografía del terreno que será considerada en forma urbana, y finalmente se deberán ingresar las variables meteorológicas mencionadas anteriormente en la Tabla 3, indicando la estabilidad atmosférica, que define la capacidad de mezclado entre los gases que se dispersan en el aire, dependiendo

de la velocidad del viento, la humedad del ambiente y la radiación solar, dichas estabildades atmosféricas siguen la clasificación según Pasquill (1961), quien realizó su categorización según condición atmosférica inestable (A), atmosférica neutra (D) y atmosférica estable (F) (Díaz, 2008).

2.3.5 Mapa georreferenciado

Las modelaciones a través del software Slab View, se incorporaron a Google Earth Pro®, en un mapa georreferenciado, exponiendo de manera gráfica los resultados obtenidos. El mapa georreferenciado proporcionó información sobre la ubicación de estanques, posibles zonas que pueden ser afectadas, concentración de GLP en el tiempo, dirección y distancia alcanzada por la liberación.



III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

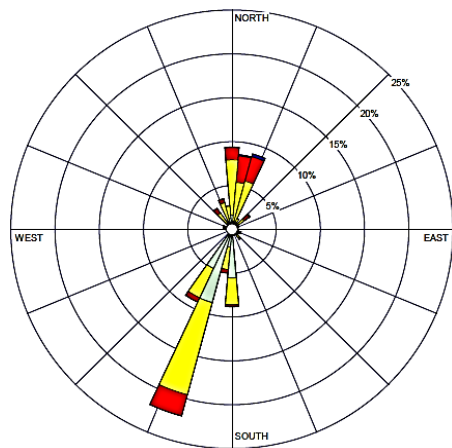
3.1 Variables Meteorológicas

Con los datos recopilados provenientes de las estaciones meteorológicas, luego de ser revisados, corregidos y procesados, se obtuvieron los siguientes promedios para las diferentes estaciones del año (Tabla 8), registrando mayores temperaturas y velocidades del viento en periodo de verano, y mayor porcentaje de humedad relativa en periodo de invierno.

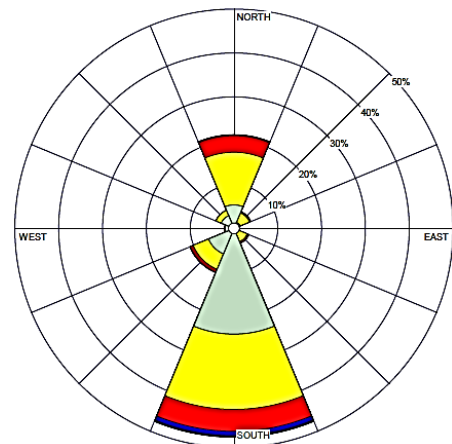
Tabla 8. Promedios estacionales de variables meteorológicas

Variables Meteorológicas			
Estación del año	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

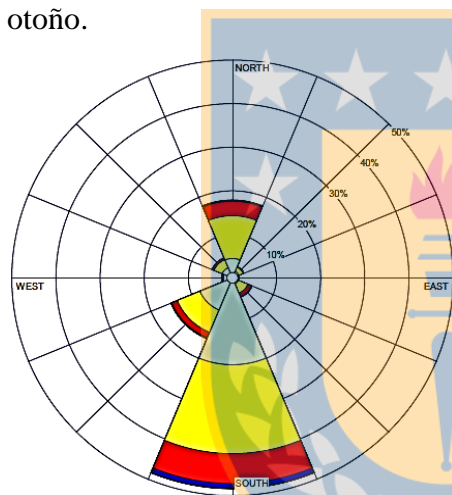
Los resultados obtenidos a través del software Wrplot para la dirección del viento “hacia dónde va”, fueron representados en rosas de los vientos para periodos estacionales de verano (Figura 1a), otoño (Figura 1b), invierno (Figura 1c) y primavera (Figura 1d), considerando 0° en dirección Norte y 180° en dirección Sur. Los colores presentes en las rosas de los vientos de la Figura 1, indican los rangos de velocidades del viento presentes en el análisis, gris para vientos de 0 a 1 m/s, amarillo para 1 a 3 m/s, rojo para 3 a 6 m/s y azul para 6 a 8 m/s. Las direcciones de los vientos predominantes fueron expresados en grados en la Tabla 9, con 180° de dirección predominante para las estaciones de otoño, invierno y primavera, y 200° para la estación de verano.



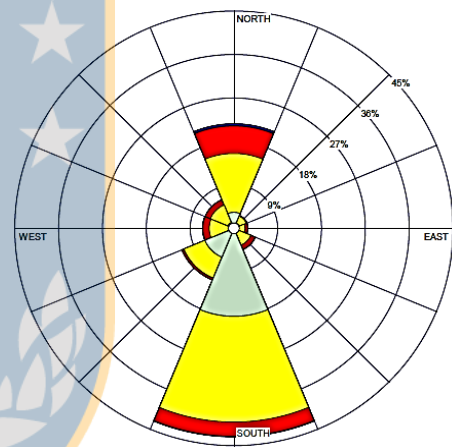
(a). Distribución del viento en verano.



(b). Distribución del viento en otoño.



(c). Distribución del viento en invierno.



(d). Distribución del viento en primavera.

Figura 1. Distribución del viento en verano (a), otoño (b), invierno (c) y primavera (d)

Tabla 9. Dirección del viento predominante para cada estación del año

Estación del año	Dirección del viento
Verano	200°
Otoño	180°
Invierno	180°

Primavera	180°
-----------	------

3.2 Variables fisicoquímicas del GLP

De la información solicitada a empresas del rubro, no se obtuvo respuesta de las empresas Gasco ni Abastible. Las empresas Lipigas y Uligas, proporcionaron información y datos sobre propano y butano, pero no se obtuvo una respuesta específica para los datos fisicoquímicos del GLP. Finalmente, las variables fueron el resultado de la investigación desde páginas web especializadas en GLP pertenecientes a empresas internacionales, destacando a la empresa AFROX quien posee un “Manual de referencia de productos”, desde donde fueron obtenidos los datos (Anexo 1).

Las variables fisicoquímicas expuestas en el Anexo 1, corresponden a la mezcla de Propano y butano en concentraciones de 60% y 40% respectivamente, sustancias que componen el GLP.

3.3 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.

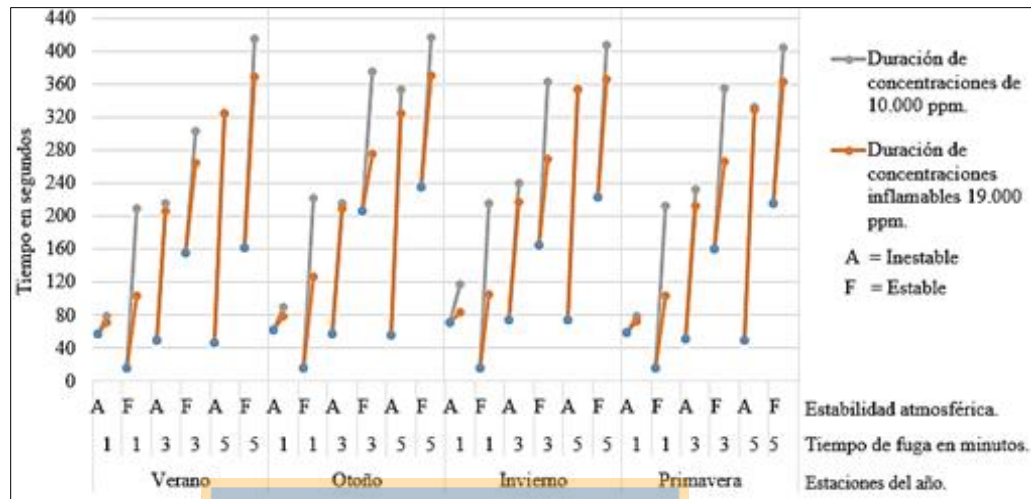


Figura 2. Detección, inicio y término de concentraciones por estaciones del año en condiciones atmosféricas inestables y estables

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.

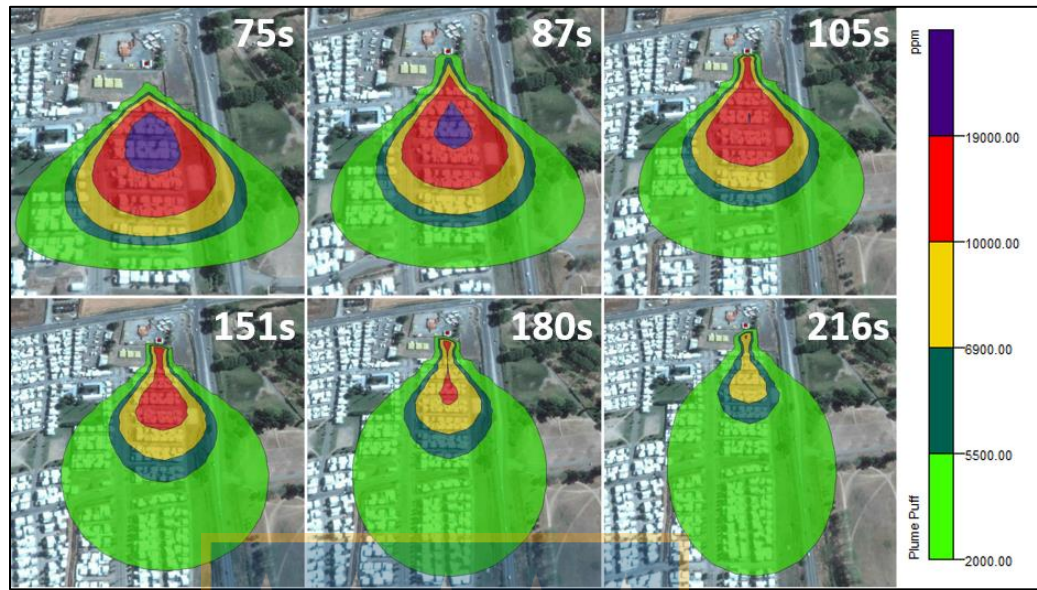


Figura 3. Comportamiento de la nube posterior a fuga de 60 segundos, estación invierno, condición estable

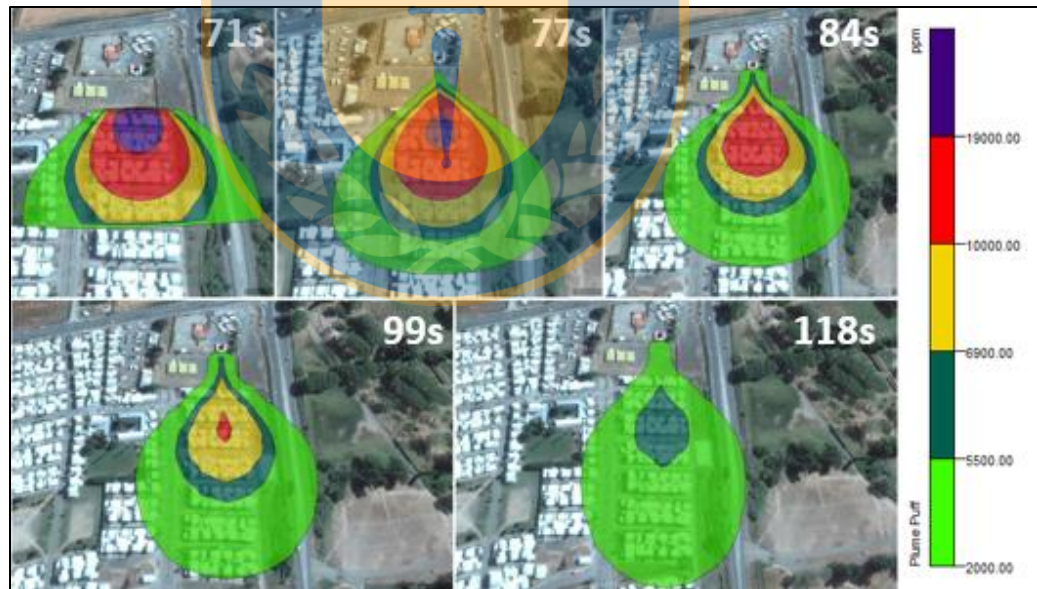


Figura 4. Comportamiento de la nube posterior a fuga de 60 segundos, estación de invierno, condición inestable

También se observó que el tiempo de duración de la fuga total del contenido del estanque, afecta la distancia que pueden alcanzar las nubes, debido a la diferencia de fuga de GLP por segundo. Cuando el tiempo de fuga es de 5 minutos, las concentraciones se mantienen próximas al punto de fuga y si se considera una condición de estabilidad atmosférica inestable, su distancia se reduce de forma considerable (Figura 5), pero a diferencia de una fuga de 60 segundos, las concentraciones se mantienen por un tiempo más prolongado.

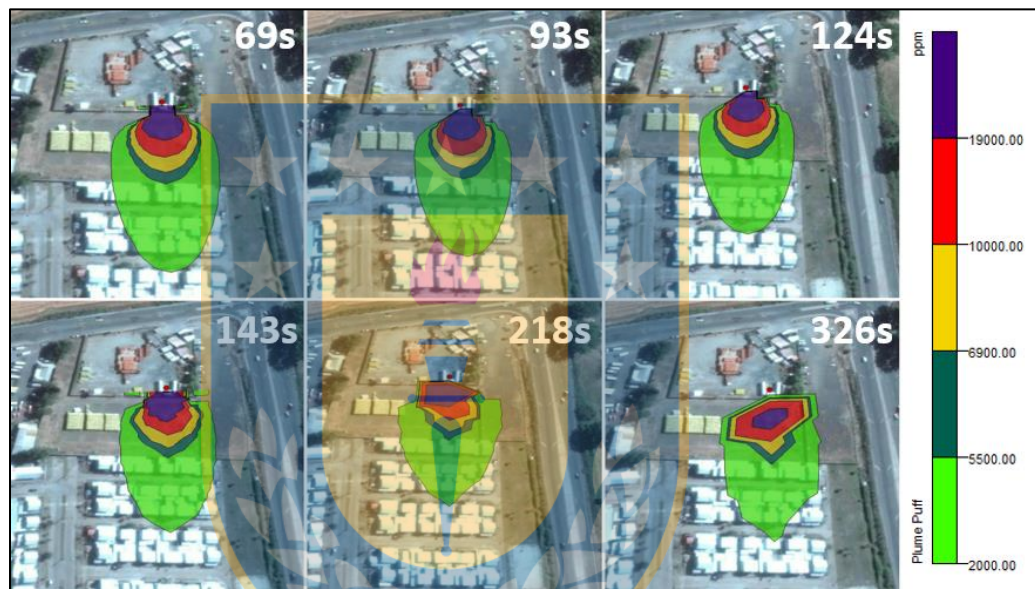
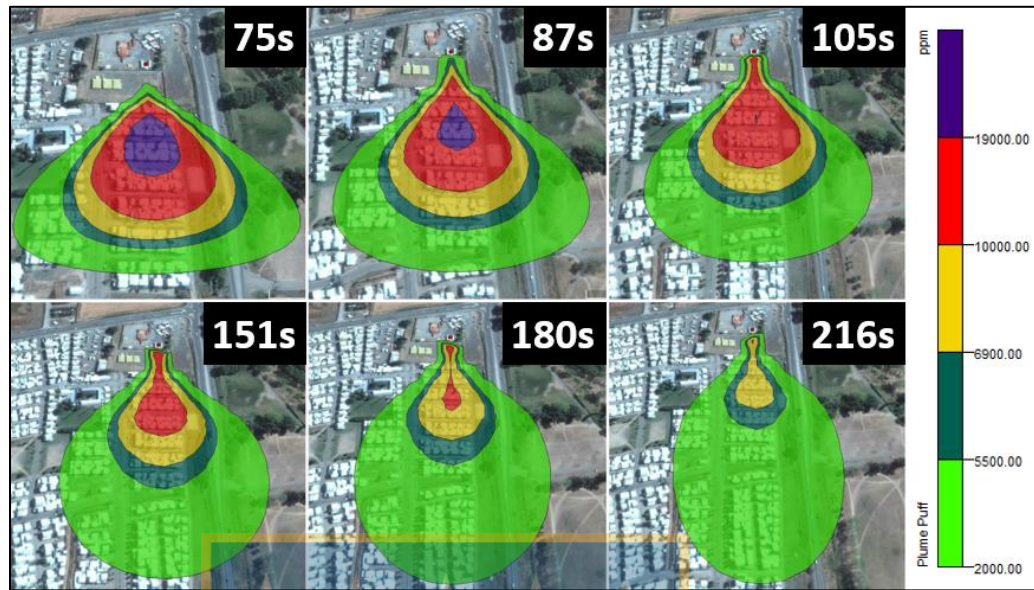


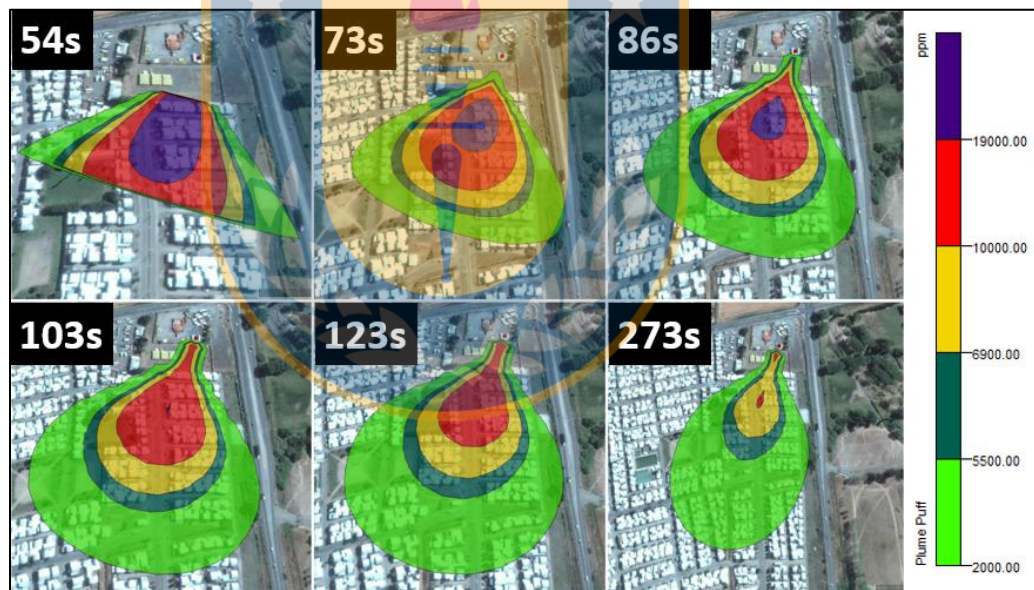
Figura 5. Comportamiento de la nube en una fuga de 300 segundos, estación de primavera, condición inestable

3.4 Condiciones del peor escenario en la emisión de GLP

Las modelaciones en las diferentes estaciones del año, no presentaron mayores diferencias, debido a esto se realizó una modelación con un tiempo de fuga de 60 segundos considerando la temperatura más baja registrada en periodo de invierno que corresponde a $-3,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ (a), la más alta en periodo de verano $37,18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (b) y la velocidad del viento correspondiente a cada estación, con el fin de evaluar el comportamiento de la nube en temperaturas extremas, los resultados se muestran en la Figura 6.



a). Comportamiento de la nube con una temperatura de $-3.05\text{ }^{\circ}\text{C}$.



b). Comportamiento de la nube con una temperatura de $37.18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Figura 6. Comportamiento de la nube con temperaturas de $-3.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ (a) y $37.18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (b)

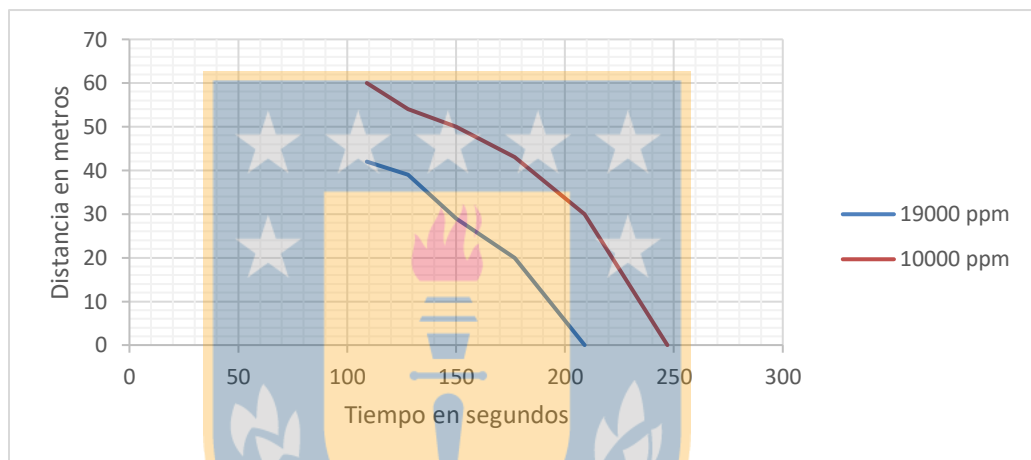
Concluyendo de lo anterior, se puede establecer que las condiciones más desfavorables al ocurrir una fuga de GLP son en estaciones de menor temperatura como lo es invierno, considerando una fuga de 60 segundos y condiciones de estabilidad atmosférica estable. Díaz et al. (2009) señalan que en condiciones de estabilidad atmosférica estable debido a que los vientos son calmos, existe menor dispersión llegando a mayores concentraciones, favoreciendo un mayor desplazamiento de ésta alcanzando mayores distancias. Coincidiendo con el análisis de los resultados obtenidos anteriormente. Afectando una mayor superficie con mayor población y trabajadores asociados al lugar de fuga.

3.5 Mapas georreferenciados de escenarios más desfavorables

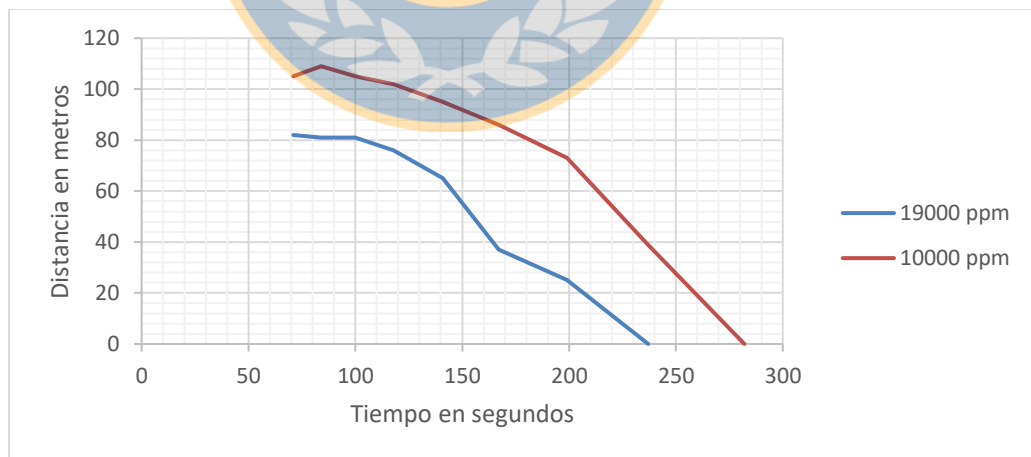
Las modelaciones se realizaron con las condiciones del peor escenario indicadas en el punto anterior, la dirección de los vientos fue dirigida de forma puntual para cada modelación, considerando la frecuencia de distribución entregada por el software Wrplot (Anexo 1) para los vientos en estación de invierno, 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 de exposición aguda (AEGl), hacia los trabajadores y la comunidad.

Los estanques identificados de clase “C” fueron un total de 23, de los cuales 9 corresponden a estanques con capacidad de 2 m³ y 14 a estanques de 4m³; de clase “D” se identificaron 3 estanques, 2 corresponden a estanques con capacidad de 11 m³ y 1 con capacidad de 49 m³. Se evaluaron las distancias alcanzadas en el tiempo para las concentraciones de 19000 y 10000 ppm (Figura 7). Para las 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 49m³ (d), pudiendo afectar a trabajadores, personas y la comunidad que se encuentren

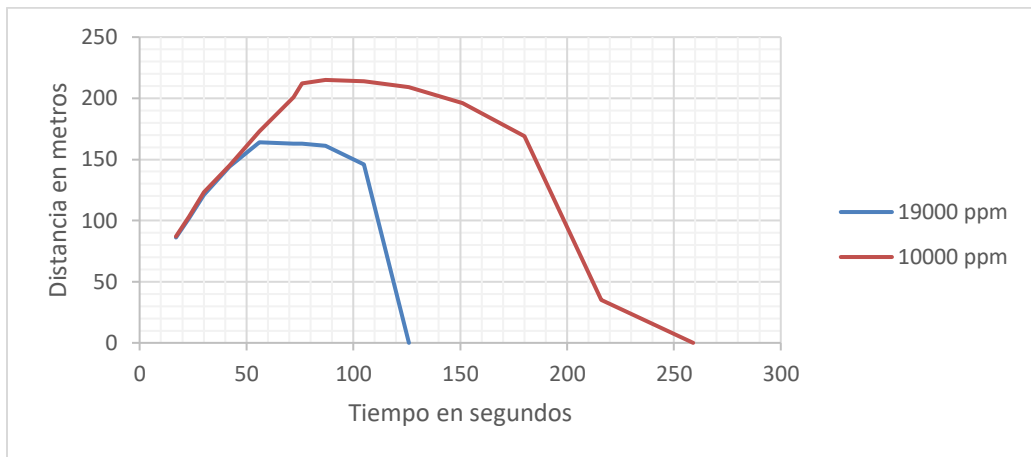
dentro de estas distancias, por otra parte la menor distancia alcanzada para esta concentración es de 20 metros en un tiempo de 177 segundos, que corresponde a un estanque de 2m^3 (a) pudiendo afectar directamente a trabajadores si estuviera ubicado dentro de las dependencias de una empresa. Las distancias registradas por las concentraciones de 10000 ppm son en todos los casos superiores a las de 19000 ppm, la mayor distancia alcanzada es de 480 metros en un tiempo de 95 segundos del inicio de la fuga desde un estanque de 49m^3 (d).



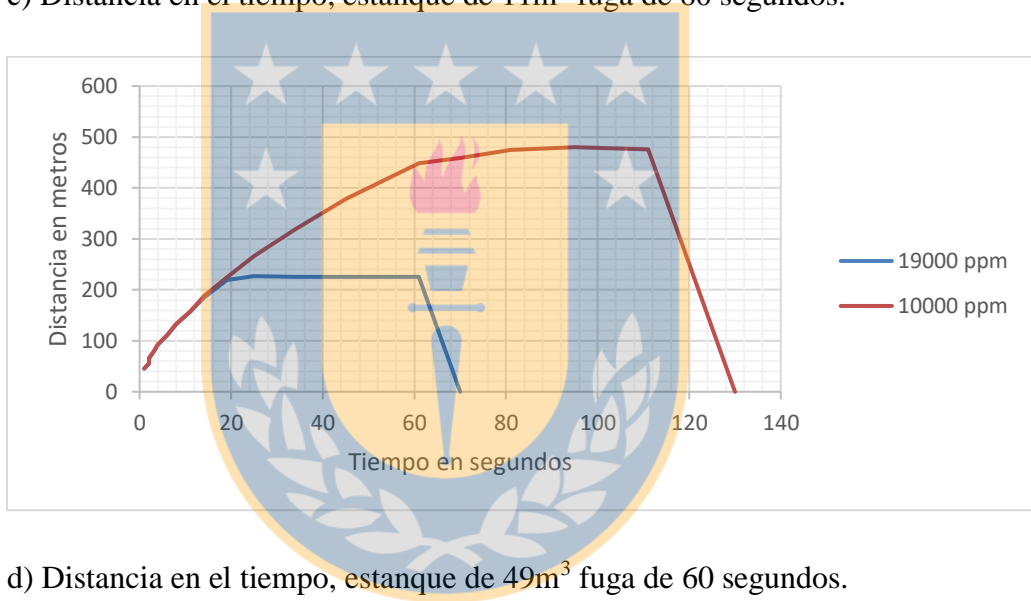
a) Distancia en el tiempo, estanque de 2m^3 fuga de 60 segundos.



b) Distancia en el tiempo, estanque de 4m^3 fuga de 60 segundos.



c) Distancia en el tiempo, estanque de 11m³ fuga de 60 segundos.

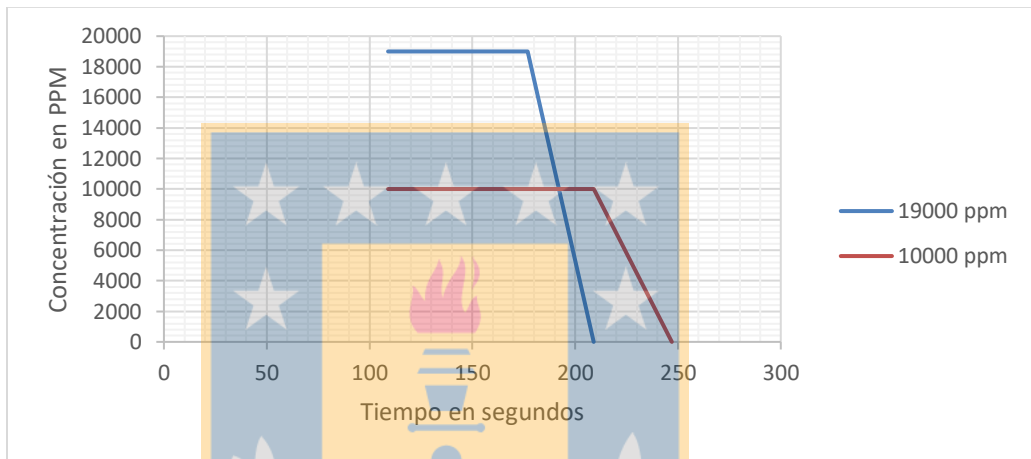


d) Distancia en el tiempo, estanque de 49m³ fuga de 60 segundos.

Figura 7. Distancia en el tiempo, a) estanque de 2m³, b) estanque de 4m³, c) estanque de 11m³ y d) estanque de 49m³, fuga de 60 segundos.

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 (Figura 8). Las concentraciones de 19000 ppm al igual que las concentraciones de 10000 son detectadas más rápidamente en la fuga de un estanque de 49m³ (d) en un tiempo de 1 segundo luego de iniciada la fuga, perdurando durante 60 segundos las concentraciones de 19000 ppm y 110

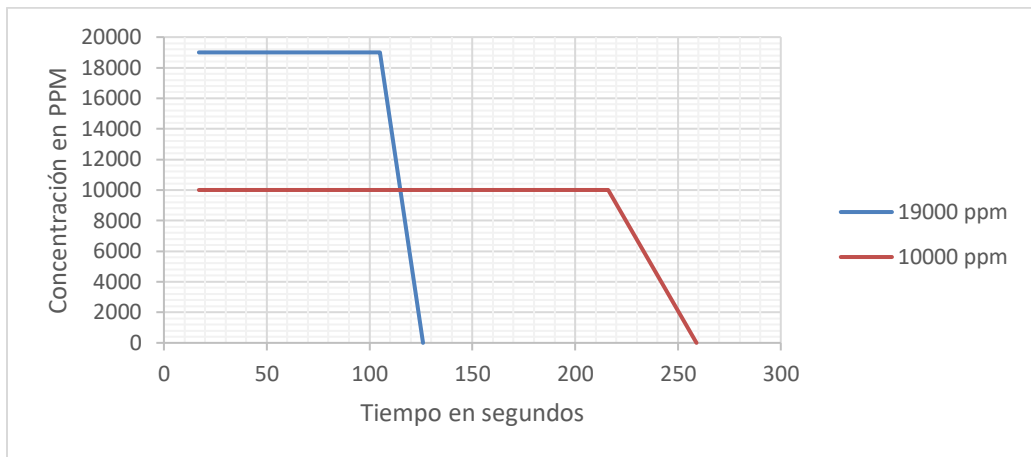
segundos las concentraciones de 10000 ppm. El mayor tiempo donde se detectan la presencia de estas concentraciones es en una fuga de un estanque de 11m^3 (c), registrando un tiempo de 88 segundos para concentraciones de 19000 ppm y un tiempo de 199 para concentraciones de 10000 ppm. En ninguno de los casos las concentraciones de 10000 ppm perdura por un tiempo mayor a 600 segundos (10 minutos), por lo tanto no habría riesgo de intoxicación por GLP, según los niveles de exposición aguda (AEGL).



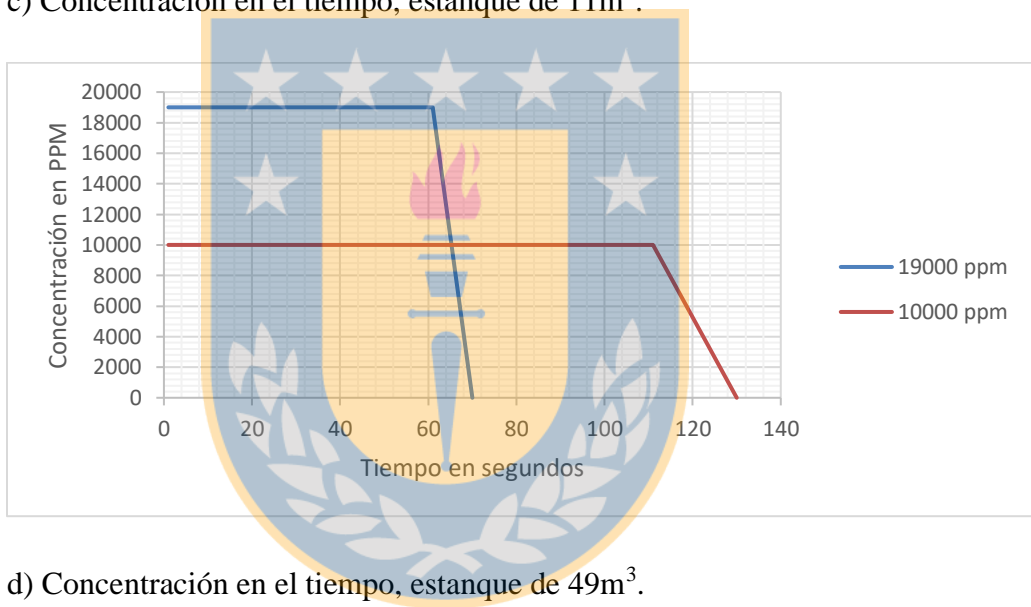
a) Concentración en el tiempo, estanque de 2m^3 .



b) Concentración en el tiempo, estanque de 4m^3 .



c) Concentración en el tiempo, estanque de 11m³.



d) Concentración en el tiempo, estanque de 49m³.

Figura 8. Concentración en el tiempo, a) estanque de 2m³, b) estanque de 4m³, c) estanque de 11m³ y d) estanque de 49m³

Los mapas georreferenciados de las modelaciones realizadas con Slab View para los puntos categorizados en clase “C” y “D” se encuentran en el Anexo 2, indicando la capacidad del estanque liberado, ubicación, tiempo desde el inicio de la fuga hasta que no se detectan concentraciones de 10000 ppm, la dirección y frecuencia del viento y las concentraciones presentes en la nube de GLP.

Sánchez et al., (2012), 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 emergencia favoreciendo la planificación de la misma bajo supuestos escenarios y condiciones.

3.6 Propuesta de acciones de Prevención de Riesgos

Se proponen acciones preventivas con el objetivo de minimizar el riesgo hacia los trabajadores. Se deberá dar cumplimiento al Decreto 108 publicado el 12 de Julio del 2014 del Ministerio de Energía, específicamente en el Título IV sobre aspectos básicos de diseño y construcción de instalaciones de GLP y Título V sobre operación, mantenimiento e inspección de las instalaciones de GLP, el cual en su capítulo 5 indica un “Manual de seguridad” que deberá contener:

- Procedimientos de supervisión de las operaciones de carga y descarga de estanques de GLP.
- Procedimientos de trabajo seguro en las instalaciones de GLP.
- Hoja de datos de seguridad de productos químicos.
- Instrucciones de manejo de GLP.
- Procedimientos de transferencia de GLP.
- Procedimientos de carga y descarga de GLP.
- Plan de mantenimiento e inspección de la instalación de GLP.
- Procedimientos para otorgar permisos para realizar trabajos de construcción, mantenimiento e inspección.
- Procedimientos de vaciado y retiro de tanques de GLP.
- Prohibiciones a todo el personal.
- Obligaciones de la gerencia, del servicio de prevención de riesgos, de los supervisores y de los trabajadores.

El Operador de una Instalación de GLP, deberá dar cumplimiento al Manual de Seguridad y verificar que el personal a su cargo, esté debidamente capacitado para su aplicación, exigiendo el cumplimiento del mismo. Las capacitaciones deben ser en forma periódica, en intervalos que no excedan los dos años. El Manual de Seguridad deberá ser validado por un profesional experto en prevención de riesgos, en períodos no superiores a tres años, y actualizado cada vez que se efectúe una modificación que tenga incidencia en alguna de las materias contenidas en éste.

3.6.1 Plan de emergencia para trabajadores.

En caso de ocurrir una fuga, al ser un accidente que puede tener consecuencias graves a causa de una ignición, se deberá:

- Dar aviso inmediatamente a bomberos, carabineros y ambulancia, en caso que corresponda, empresa distribuidora de GLP.
- Evacuar al personal y áreas en dirección opuesta a la dirección del viento, acudiendo a los puntos de reunión más seguros.
- Alejar y/o desconectar toda fuente de calor que pudiera provocar una ignición.
- Cerrar válvulas de alimentación de GLP.
- Mantener frío el estanque con agua pulverizada en la dirección del viento, favoreciendo su dispersión.
- Si es posible, identificar el o los lugares por donde se produce la salida del GLP.

En caso de producirse una ignición:

- Utilizar sistema de rociadores de agua pulverizada.
- Evacuar zonas y las áreas locales.
- Utilizar elementos de protección para aproximarse a válvulas para detener la fuga, utilizar cortinas de agua pulverizada para ayudar a disipar el calor.

- Si las llamas afectasen directamente a un depósito de almacenamiento se debe controlar la presión del estanque.

Una vez controlada la emergencia, los trabajadores se deberán mantener en la zona de seguridad mientras bomberos evalúa la situación para dar autorización a retomar las actividades laborales.

3.6.2 Plan de emergencia para la comunidad

Se deberá crear un plan comunal con la participación de todos los miembros de la comunidad.

- Organización: se deberá crear un comité de emergencias designado por la comunidad.
- El comité de emergencias deberá: Identificar los estanques cercanos que puedan causar consecuencias en caso de fuga, ya sea en dependencias de empresas o ubicados en la villa, establecer zonas seguras representadas en un mapa, asignar líderes de evacuación que puedan guiar a la comunidad hacia zonas seguras, informar a la comunidad sobre los riesgos asociados a una fuga de GLP, remitir el plan de emergencia hacia la unidad de carabineros y bomberos más cercana.

En caso de ocurrir una fuga.

- El comité de emergencia o cualquier miembro de la comunidad, deberá dar aviso inmediato a carabineros, bomberos y ambulancia.
- Los líderes de evacuación, deberán dirigir a la comunidad hacia las zonas seguras designadas.
- El comité de emergencia junto con los líderes de evacuación, deberán mantener a la comunidad en las zonas seguras hasta que bomberos controle la emergencia.

IV. CONCLUSIONES

- En la zona de estudio existen estanques que, en caso de una fuga, forman nubes con concentraciones potencialmente peligrosas que pueden afectar a trabajadores y la comunidad cercana, a causa de concentraciones que puedan provocar deflagraciones.
- No existe peligro de intoxicación por GLP, ya que el tiempo de exposición es menor a lo indicado por 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 que puedan provocar deflagraciones.
- 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 de un estanque de 49m^3 es potencialmente más peligroso al ocurrir una fuga, ya que las concentraciones que pueden provocar deflagraciones se detectan de forma inmediata.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Carrari, C., Aparicio, L., Bandoni, J., & Tonelli, S. (2004). Utilización de modelos de dispersión atmosférica para la estimación de dosis de exposición. *Mecánica Computacional*, 23, pp. 1743-1759.
2. Díaz, C. (2008). Minimización del Riesgo de Accidentes por Emisión de Gases Tóxicos a través de la Distribución de Facilidades (Tesis de Maestría). Instituto Tecnológico de Celaya, México.
3. Díaz, C., Vázquez, R., & Sam, M. (2009). Determinación de los Factores del Peor Escenario en la Emisión de Gases Tóxicos. *Información Tecnológica*, 20, PP. 3-10.
4. Doval, M. (2003). Zonas de planificación para accidentes graves de tipo toxico (Guía Técnica). Universidad de Murcia, España.
5. Emol. (2013). Explosión por fuga de gas causa incendio en bencinera de Viña del Mar. Abril 21, 2016, de Emol Sitio web: <http://www.emol.com/noticias/nacional/2013/08/13/614347/incendio-en-bencinera-de-vina-del-mar.html>
6. Energy Information Administration. (2009). Annual Energy Outlook 2009 With Projections to 2030. Abril 23, 2016, de EIA Sitio web: [http://www.eia.gov/oiaf/aeo/pdf/0383\(2009\).pdf](http://www.eia.gov/oiaf/aeo/pdf/0383(2009).pdf)
7. Ermak, D. (1990). User`s Manual for Slab: An Atmospheric dispersion model for denser-than-air releases. USA: US Department of Energy by Laurence Livermore National Laboratory.
8. González, K. (Abril 21, 2016). Incendio del Mercado de Temuco. Abril 27, 2016, de La Tercera Sitio web: <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>
9. INE (2012). Resultados XVIII Censo de Población. Características demográficas, sociales, culturales y económicas de la población.

Recuperado el 29 de Mayo de 2016, de Sitio web:
http://indigenousnews.org/wp-content/uploads/2013/04/resultados_censo_2012_poblacion_vivienda_tomosIyII.pdf

10. Jiménez, F. (2005). La Seguridad en la distribución y manipulación del G.L.P. abril 24, 2016, de Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente Sitio web:
http://www.f2i2.net/web/publicaciones/libro_seguridad_industrial/lsi_cap15.pdf
11. Lakes Environmental Inc. Software Slab view. Recuperado el 21 de mayo de 2016, de sitio web
<https://www.weblakes.com/products/slab/features.html>
12. Peña, J. (Junio 30, 2014). 25 años del accidente de tren más grave de la historia de Rusia. abril 27, 2016, de Russia Beyond The Headlines Sitio web:
http://es.rbth.com/sociedad/2014/06/30/25_anos_del_accidente_de_tren_mas_grave_de_la_historia_de_rusia_41365
13. Sánchez, E., Colman, J., Acquesta, A., Porta, A., & Jacovkis, P. (2012). Dispersión de contaminantes y zonas de afectación en un incidente químico para la planificación y respuesta. marzo 28, 2016, de Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas Sitio web:
http://www.conicet.gov.ar/new_scp/detalle.php?keywords=&id=05422&inst=yes&congresos=yes&detalles=yes&congr_id=1543071
14. Sarmiento, M., Ortíz, E., & Álvarez, J. (2003). Emergencias ambientales asociadas a sustancias químicas en México. Gaceta Ecológica, 66, pp. 54-63.
15. Silva, A., Barrandeguy, M., & Pincheira, Y. (2016). Riesgos hacia los trabajadores y la comunidad por liberaciones accidentales de gases densos peligrosos en la ciudad de Los Ángeles. Ciencia & trabajo, 18, pp. 81-86.

16. Villafañe, D. (2013). Estudio de la dispersión e incendio de nubes inflamables de gas (GNL y GLP). Marzo 26, 2016, de Universidad Politécnic de Catalunya Sitio web: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/128931/TDVS1de1.pdf?sequence=1>



VI. ANEXOS

Anexo 1: Variables Físicoquímicas del GLP.

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

Anexo 2: Frecuencia de distribución de los vientos de invierno.

Frequency Distribution
(Normalized)

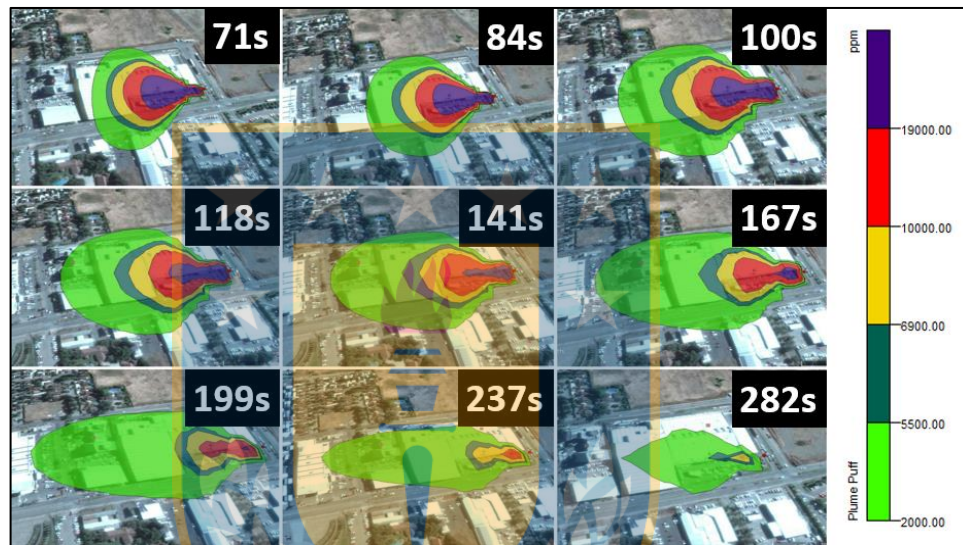
Wind Direction (Blowing From) / Wind Speed (m/s)

	0.00 - 2.00	2.00 - 4.00	4.00 - 6.00	6.00 - 8.00	8.00 - 10.00	>= 10.00	Total
355-5	0.097192	0.092844	0.019837	0.002446	0.000091	0.000000	0.212409
5-15	0.037228	0.028986	0.018207	0.005888	0.000091	0.000272	0.090670
15-25	0.069384	0.069203	0.027355	0.002808	0.000181	0.000272	0.169203
25-35	0.049185	0.031522	0.004257	0.000000	0.000000	0.000000	0.084964
35-45	0.008967	0.004348	0.000272	0.000272	0.000000	0.000000	0.013859
45-55	0.005435	0.008424	0.003533	0.000906	0.000000	0.000000	0.018297
55-65	0.005797	0.000634	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.006431
65-75	0.005344	0.000634	0.000725	0.000181	0.000000	0.000000	0.006884
75-85	0.005344	0.000091	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.005435
85-95	0.004891	0.001630	0.000906	0.000000	0.000000	0.000000	0.007428
95-105	0.003533	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.003533
105-115	0.004076	0.004620	0.002264	0.000000	0.000000	0.000000	0.010960
115-125	0.002717	0.000181	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.002899
125-135	0.005435	0.000181	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.005616
135-145	0.005978	0.011594	0.002989	0.000000	0.000000	0.000000	0.020562
145-155	0.008243	0.001630	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.009873
155-165	0.011141	0.019475	0.004891	0.000000	0.000000	0.000000	0.035507
165-175	0.010870	0.015399	0.001087	0.000000	0.000000	0.000000	0.027355
175-185	0.013225	0.035688	0.010779	0.001449	0.000000	0.000000	0.061141
185-195	0.007065	0.018659	0.012319	0.001178	0.000000	0.000000	0.039221
195-205	0.007428	0.016304	0.006522	0.000362	0.000000	0.000000	0.030616
205-215	0.004529	0.001540	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.006069
215-225	0.004257	0.000815	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.005072
225-235	0.002627	0.001268	0.000453	0.000000	0.000000	0.000000	0.004348
235-245	0.001721	0.000091	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.001812
245-255	0.001993	0.000725	0.000543	0.000091	0.000000	0.000000	0.003351
255-265	0.001359	0.000453	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.001812
265-275	0.001812	0.002264	0.002536	0.000000	0.000000	0.000000	0.006612
275-285	0.001359	0.000453	0.000091	0.000000	0.000000	0.000000	0.001902
285-295	0.001268	0.003442	0.002083	0.000000	0.000000	0.000000	0.006793
295-305	0.005525	0.001268	0.000815	0.000000	0.000000	0.000000	0.007609
305-315	0.002264	0.002264	0.000725	0.000181	0.000000	0.000000	0.005435
315-325	0.003170	0.008967	0.003714	0.000453	0.000000	0.000000	0.016304
325-335	0.002899	0.005344	0.001812	0.000634	0.000000	0.000000	0.010688
335-345	0.003442	0.016395	0.005978	0.000725	0.000091	0.000000	0.026630
345-355	0.001812	0.007790	0.004710	0.000272	0.000000	0.000000	0.014583
Total	0.408514	0.415127	0.139402	0.017844	0.000453	0.000543	0.981884

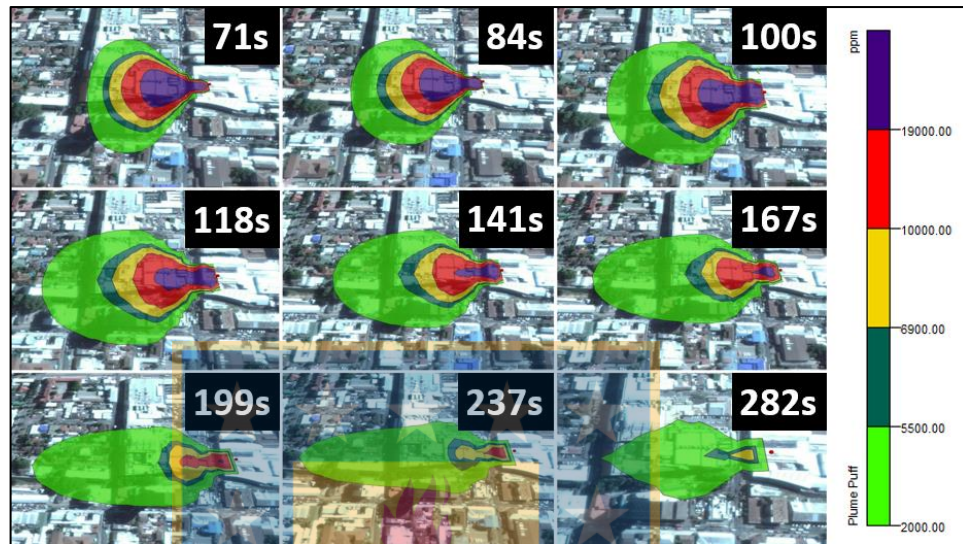
Anexo 3: Mapas georreferenciado de las modelaciones realizadas con software Slab View del peor escenario.

1. Puntos categorizados con riesgo clase “C”

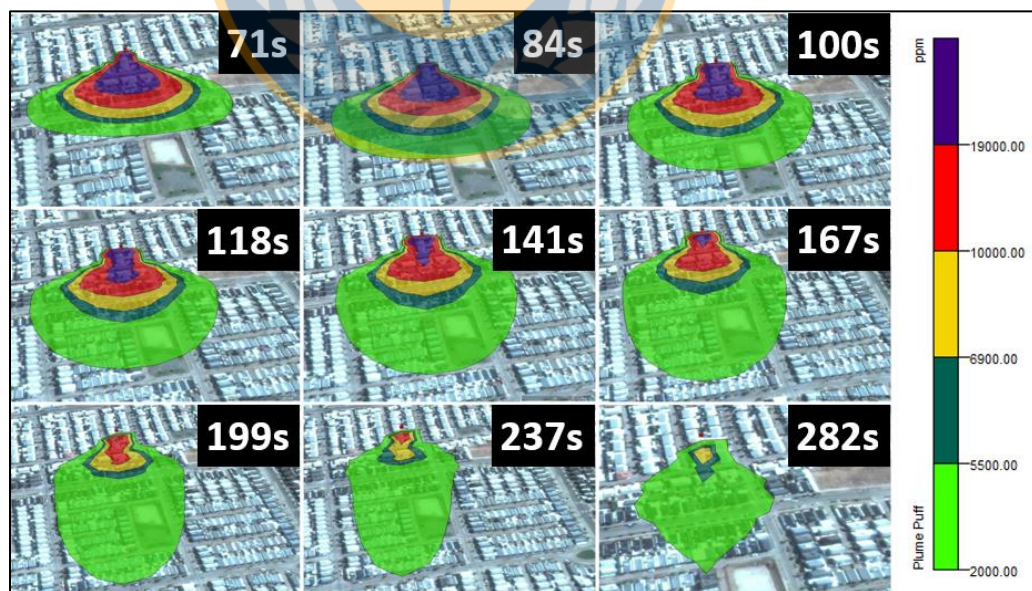
1.1 Punto 1, fuga de estanque con capacidad de 4 m³ ubicado en una tienda de construcción, coordenadas UTM 735725 O, 5849927 S, dirección del viento 270° con una frecuencia de 0,23%.



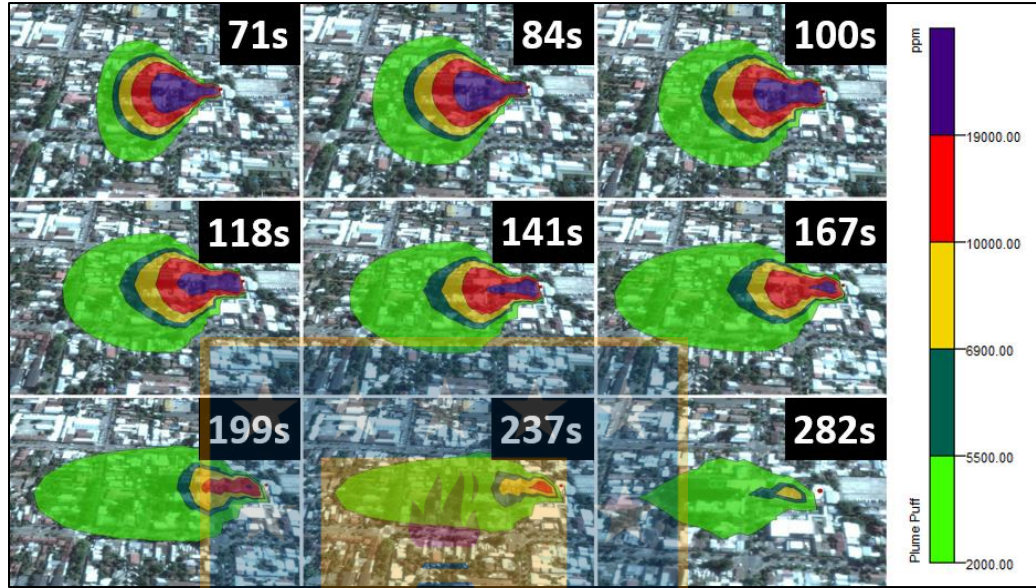
1.2 Punto 2, fuga de estanque con capacidad de 4 m³ ubicado en un restaurante, coordenadas UTM 734182 O, 5849878 S, dirección del viento 270° con una frecuencia de 0,23%.



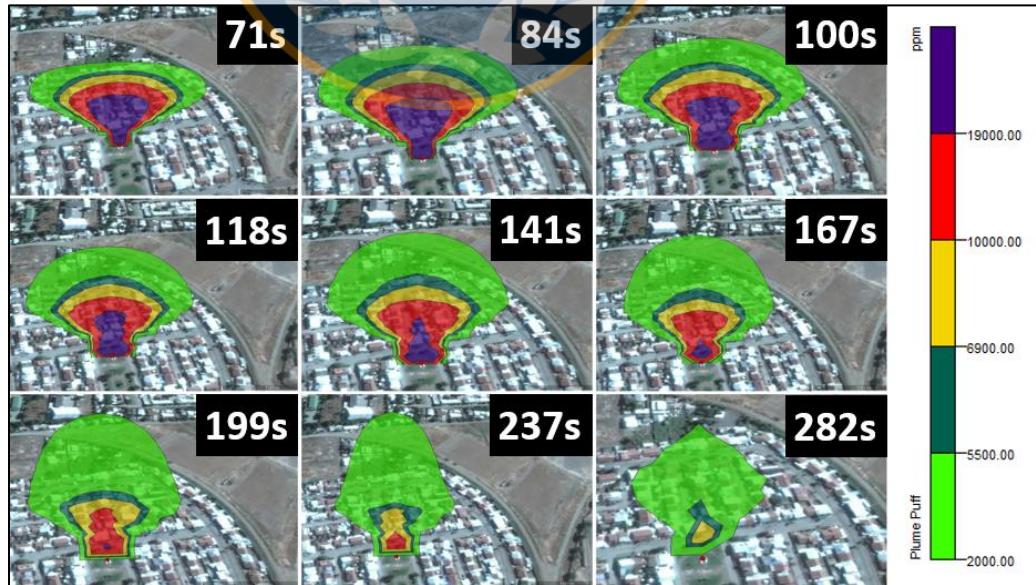
1.3 Punto 3, fuga de estanque con capacidad de 4 m³ ubicado en una maestranza, coordenadas UTM 732018 O, 5848982 S, dirección del viento 180° con una frecuencia de 3,57%.



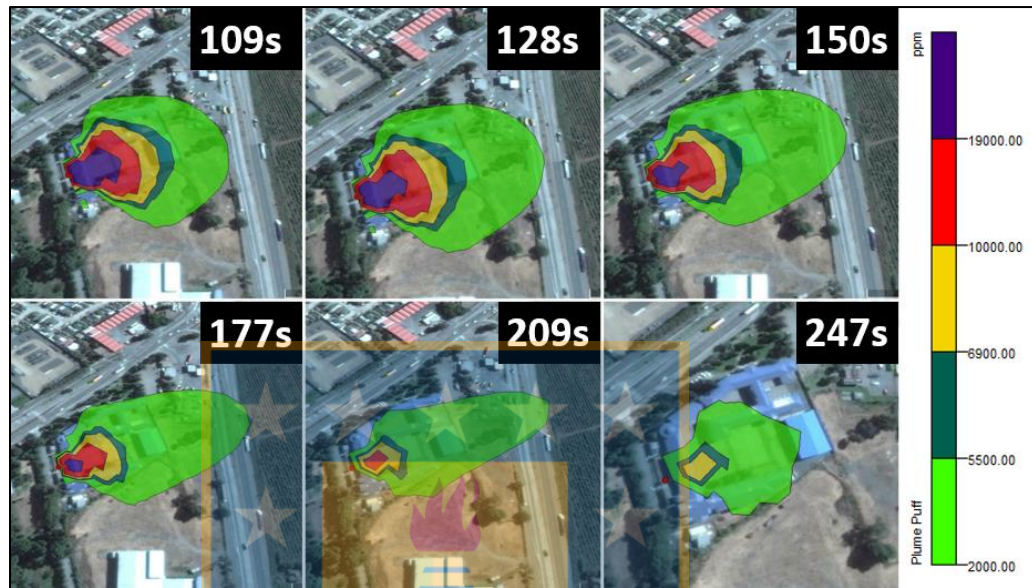
1.4 Punto 4, fuga de estanque con capacidad de 4 m³ ubicado en una Clínica, coordenadas UTM 733990 O, 5849174 S, dirección del viento 270° con una frecuencia de 0,23%.



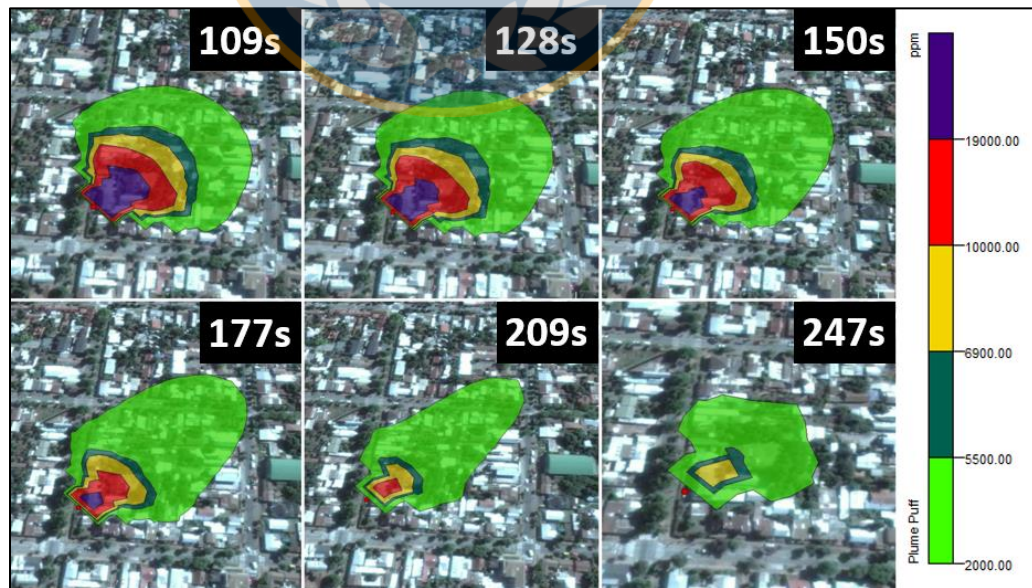
1.5 Punto 5, fuga de estanque con capacidad de 4 m³ ubicado en una villa, coordenadas UTM 732694 O, 5849249 S, dirección del viento 0° con una frecuencia de 9,28%.



1.6 Punto 6, fuga de estanque con capacidad de 2 m³ ubicado en un centro educativo, coordenadas UTM 736307 O, 5852607 S, dirección del viento 67° con una frecuencia de 0,06%.



1.7 Punto 7, fuga de estanque con capacidad de 2 m³ ubicado en un centro educativo, coordenadas UTM 733773 O, 5848860 S, dirección del viento 45° con una frecuencia de 0,84%.



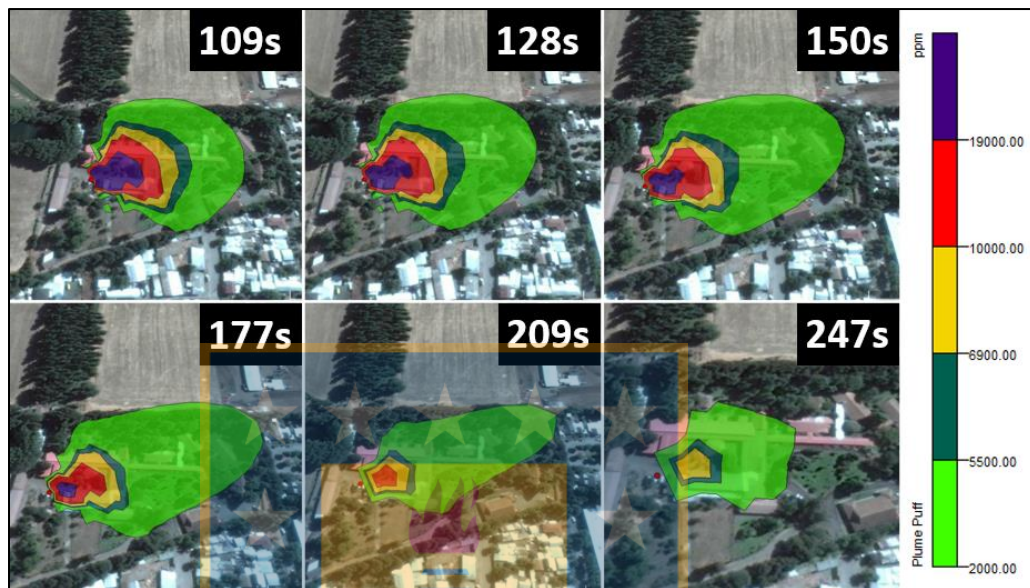
1.8 Punto 8, fuga de estanque con capacidad de 2 m³ ubicado en un centro educacional, coordenadas UTM 734153 O, 5848867 S, dirección del viento 225° con una frecuencia de 0,13%.



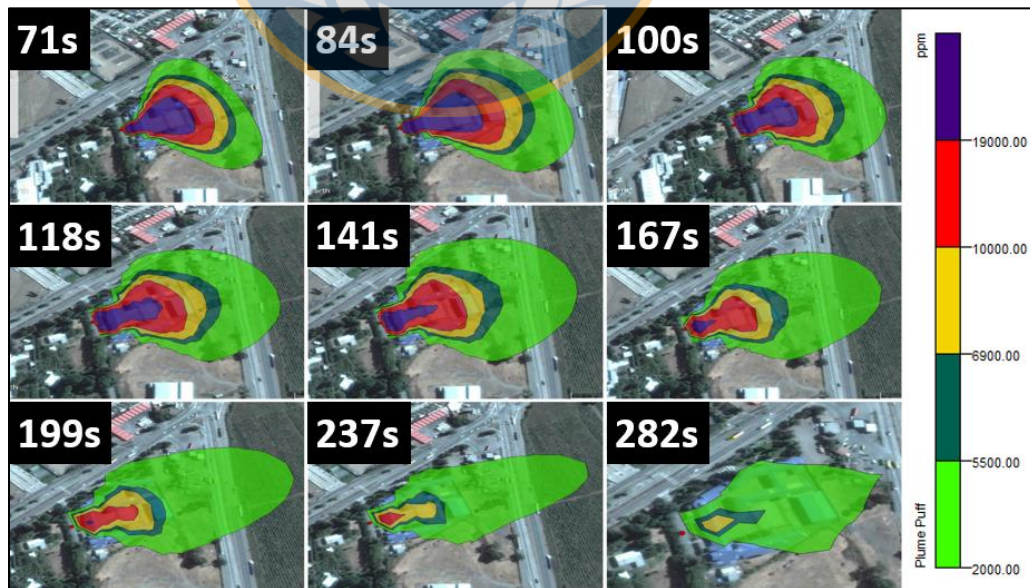
1.9 Punto 9, fuga de estanque con capacidad de 2 m³ ubicado en un centro educacional, coordenadas UTM 734515 O, 5851185 S, dirección del viento 0° con una frecuencia de 9,28%.



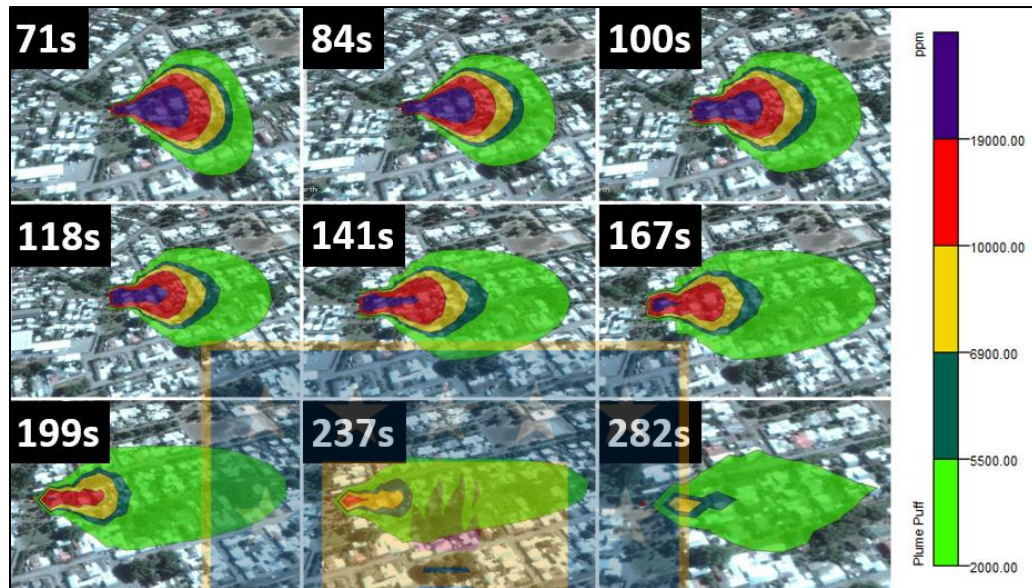
1.10 Punto 10, fuga de estanque con capacidad de 2 m³ ubicado en un centro de acogida, coordenadas UTM 734298 O, 5851286 S, dirección del viento 67° con una frecuencia de 0,06%.



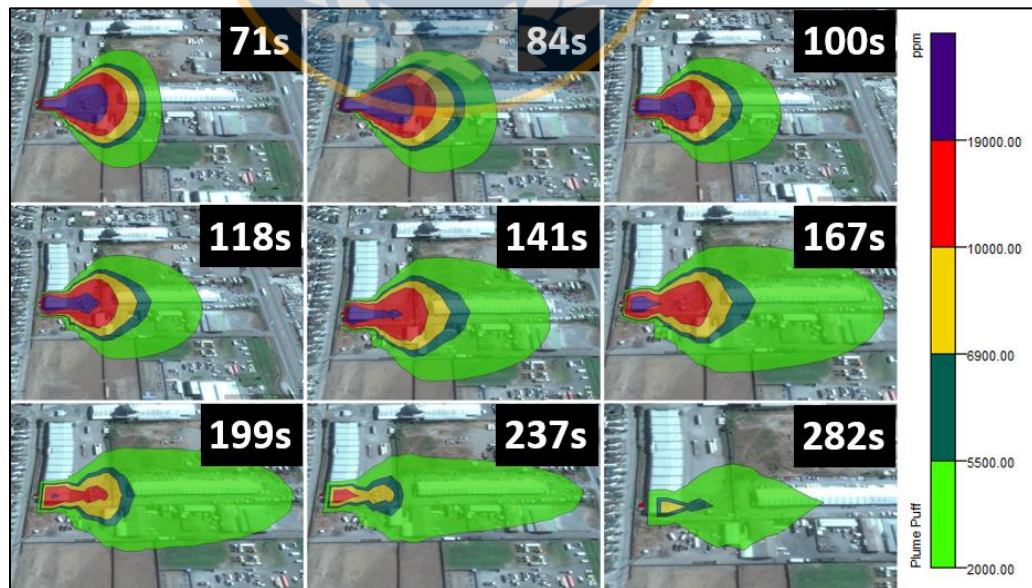
1.11 Punto 11, fuga de estanque con capacidad de 4 m³ ubicado en un centro educacional, coordenadas UTM 736295 O, 5852611 S, dirección del viento 67° con una frecuencia de 0,06%.



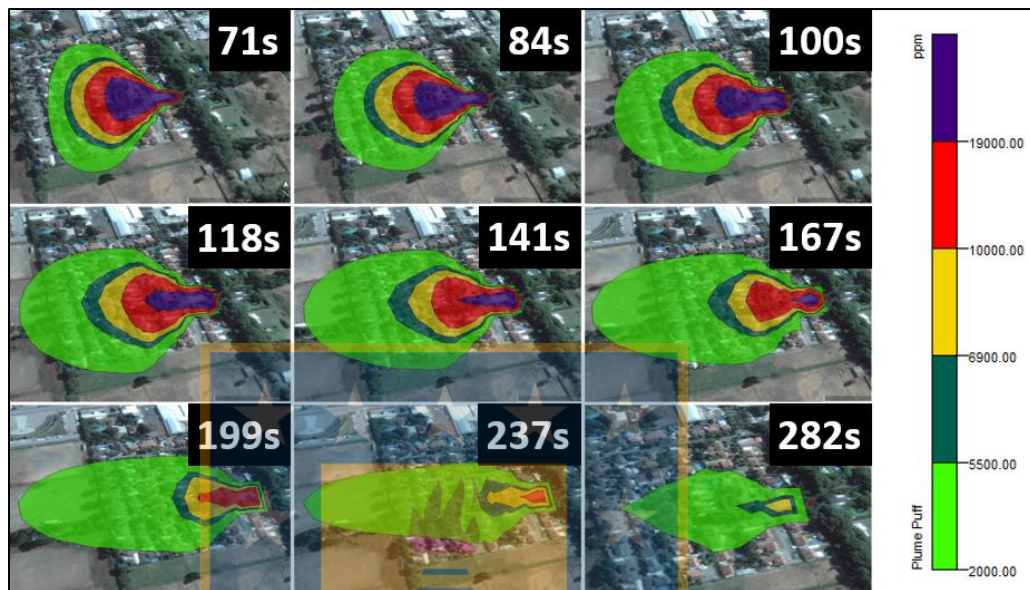
1.12 Punto 12, fuga de estanque con capacidad de 4 m³ ubicado en una villa, coordenadas UTM 734675 O, 5850626 S, dirección del viento 85° con una frecuencia de 0,16%.



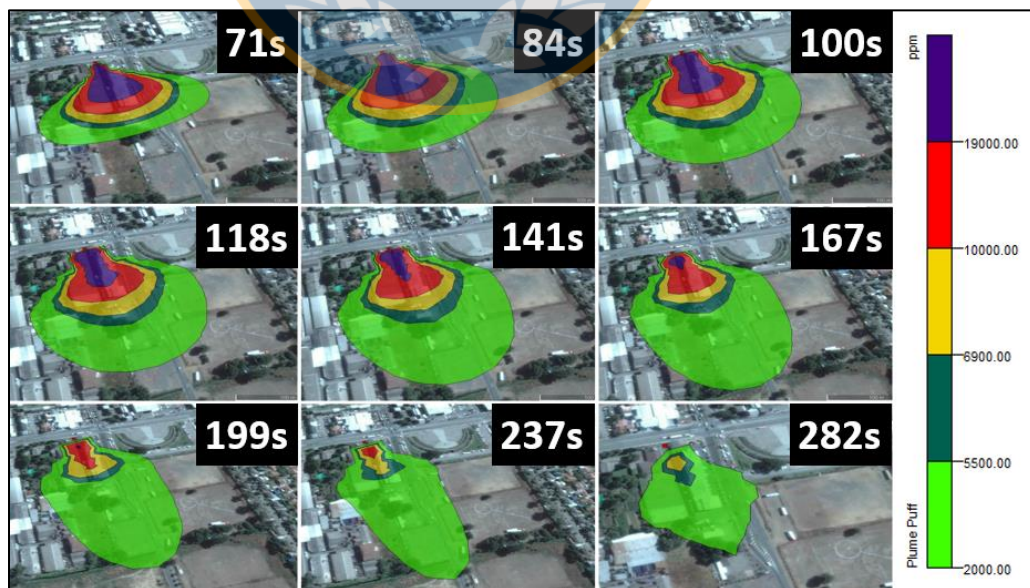
1.13 Punto 13, fuga de estanque con capacidad de 4 m³ ubicado en una fábrica de alimentos, coordenadas UTM 736155 O, 5851578 S, dirección del viento 90° con una frecuencia de 0,16%.



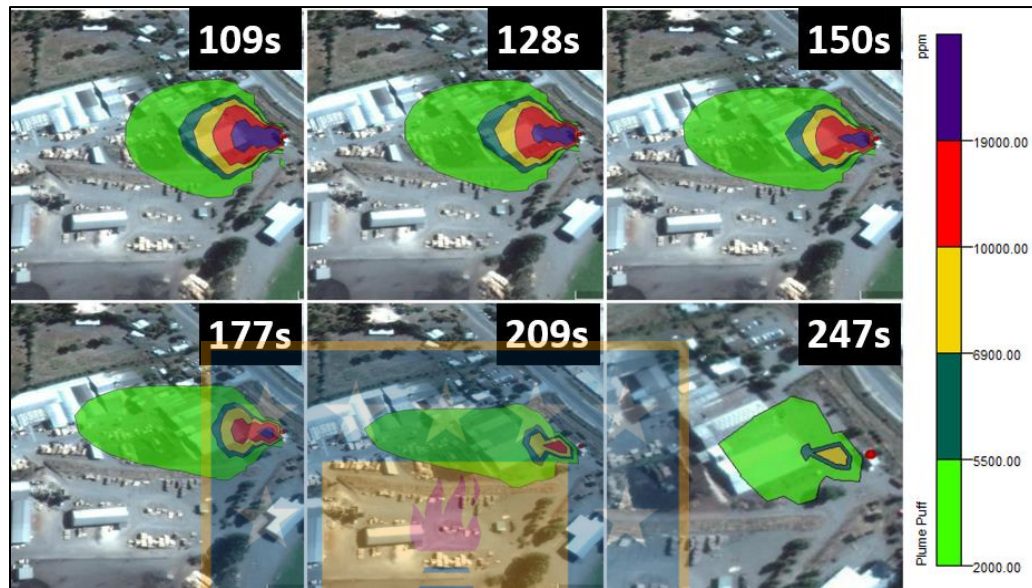
1.14 Punto 14, fuga de estanque con capacidad de 4 m³ ubicado en una villa, coordenadas UTM 735744 O, 5849640 S, dirección del viento 270° con una frecuencia de 0,23%.



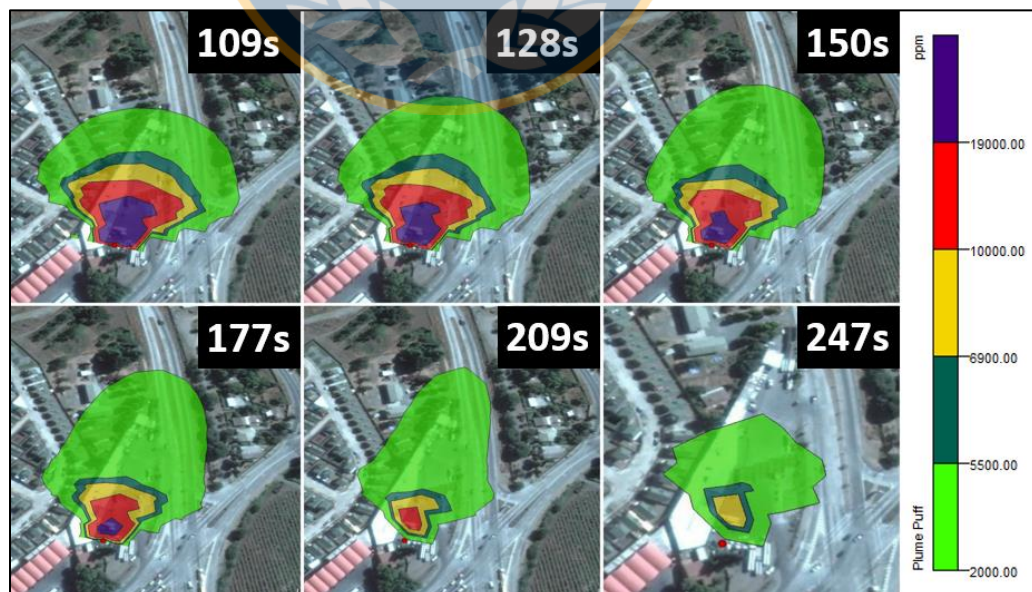
1.15 Punto 15, fuga de estanque con capacidad de 4 m³ ubicado en una iglesia, coordenadas UTM 735336 O, 5849787 S, dirección del viento 158° con una frecuencia de 1,95%.



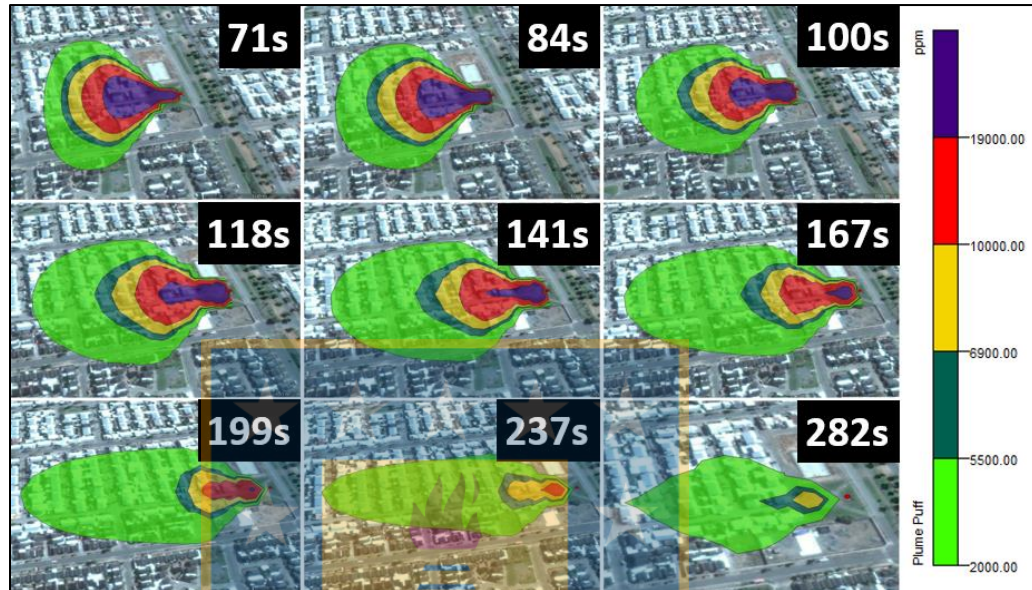
1.16 Punto 16, fuga de estanque con capacidad de 2 m³ ubicado en una fábrica laminadora de madera, coordenadas UTM 734359 O, 5857418 S, dirección del viento 280° con una frecuencia de 0,05%.



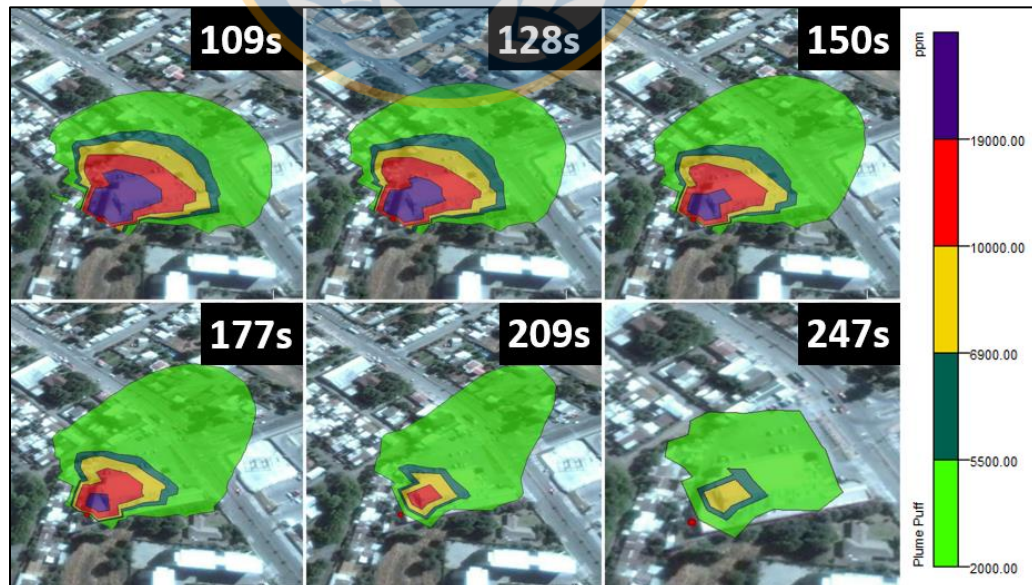
1.17 Punto 17, fuga de estanque con capacidad de 2 m³ ubicado en un servicentro, coordenadas UTM 736405 O, 5852859 S, dirección del viento 15° con una frecuencia de 6,92%.



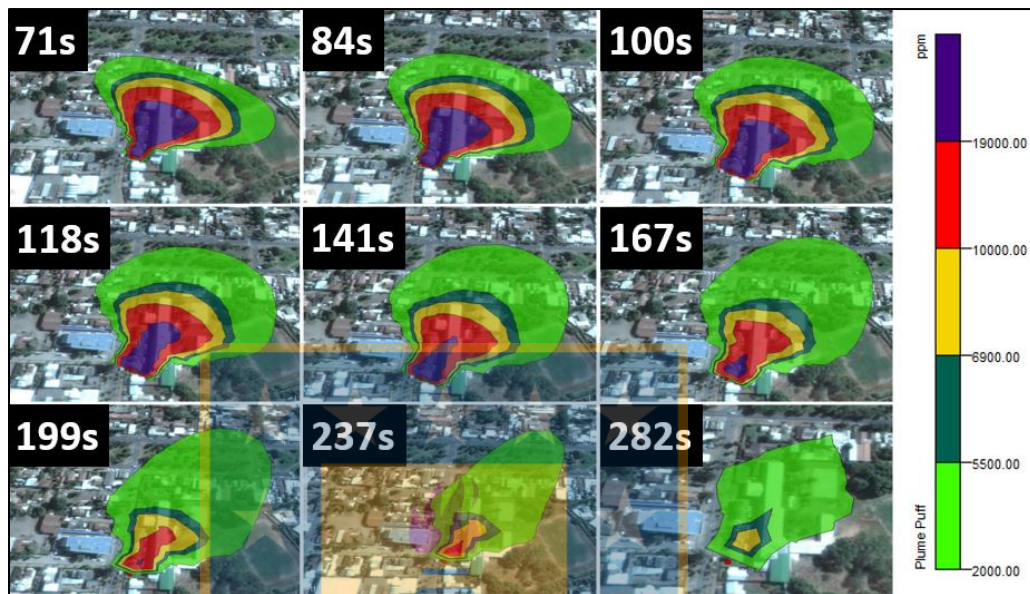
1.18 Punto 18, fuga de estanque con capacidad de 4 m³ ubicado en una villa, coordenadas UTM 732568 O, 5849031 S, dirección del viento 270° con una frecuencia de 0,23%.



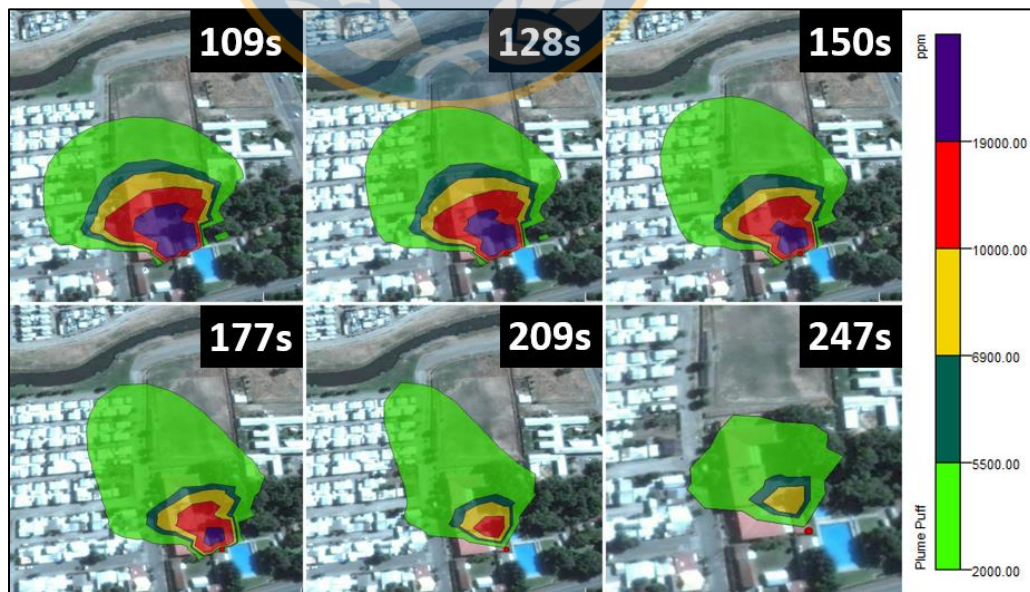
1.19 Punto 19, fuga de estanque con capacidad de 2 m³ ubicado en un supermercado, coordenadas UTM 734853 O, 5847644 S, dirección del viento 35° con una frecuencia de 0,43%.



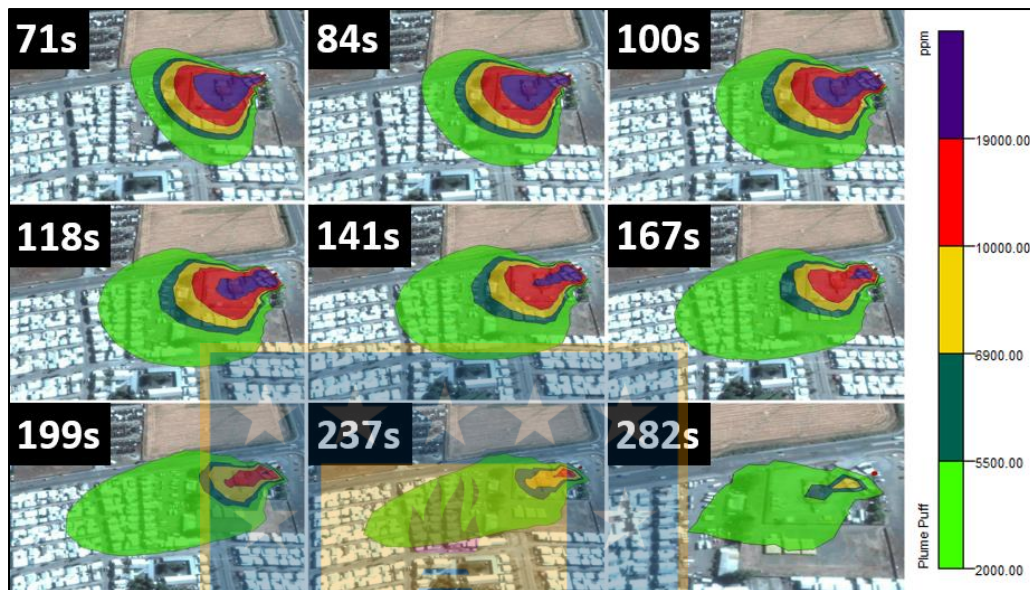
1.20 Punto 20, fuga de estanque con capacidad de 4 m³ ubicado en un centro educacional, coordenadas UTM 734155 O, 5848281 S, dirección del viento 30° con una frecuencia de 3,15%.



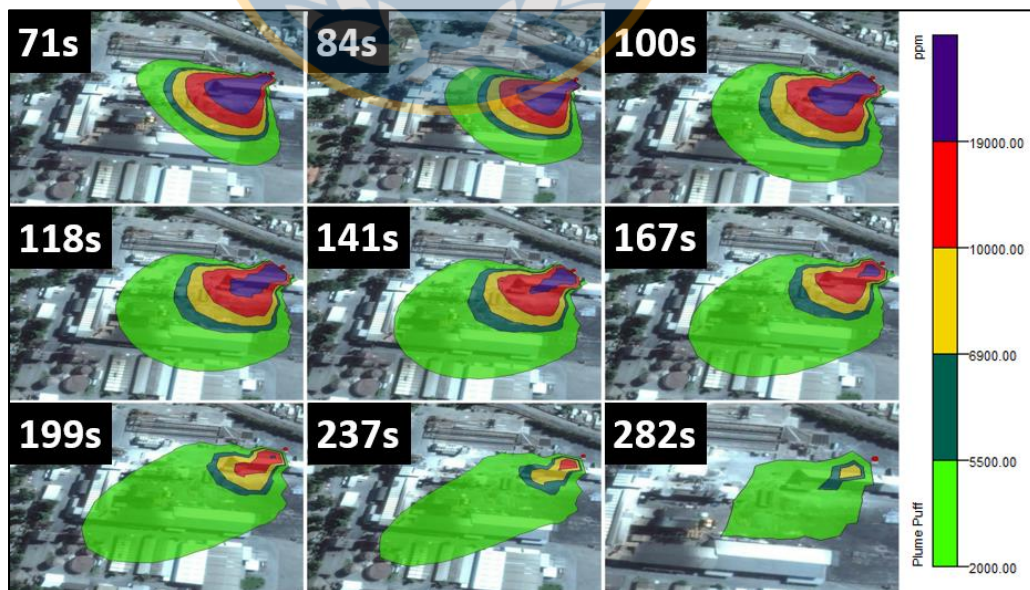
1.21 Punto 21, fuga de estanque con capacidad de 2 m³ ubicado en un centro educacional, coordenadas UTM 732814 O, 5849702 S, dirección del viento 337° con una frecuencia de 1,64%.



1.22 Punto 22, fuga de estanque con capacidad de 4 m³ ubicado en una distribuidora de gas, coordenadas UTM 736372 O, 5848047 S, dirección del viento 247° con una frecuencia de 0.07%.

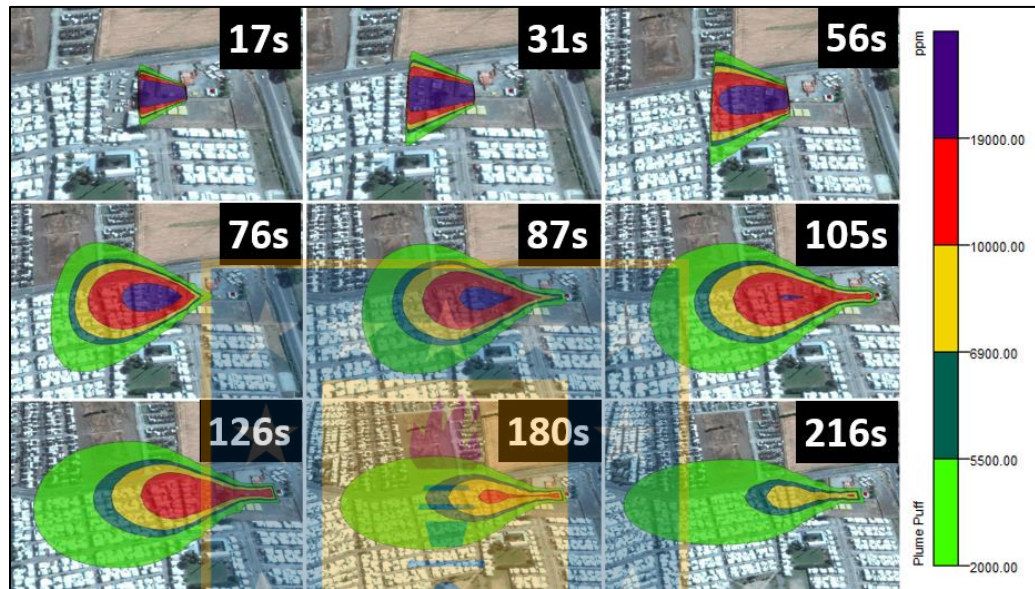


1.23 Punto 23, fuga de estanque con capacidad de 4 m³ ubicado en una fábrica de azúcar, coordenadas UTM 733217 O, 5848425 S, dirección del viento 235° con una frecuencia de 0,01%.

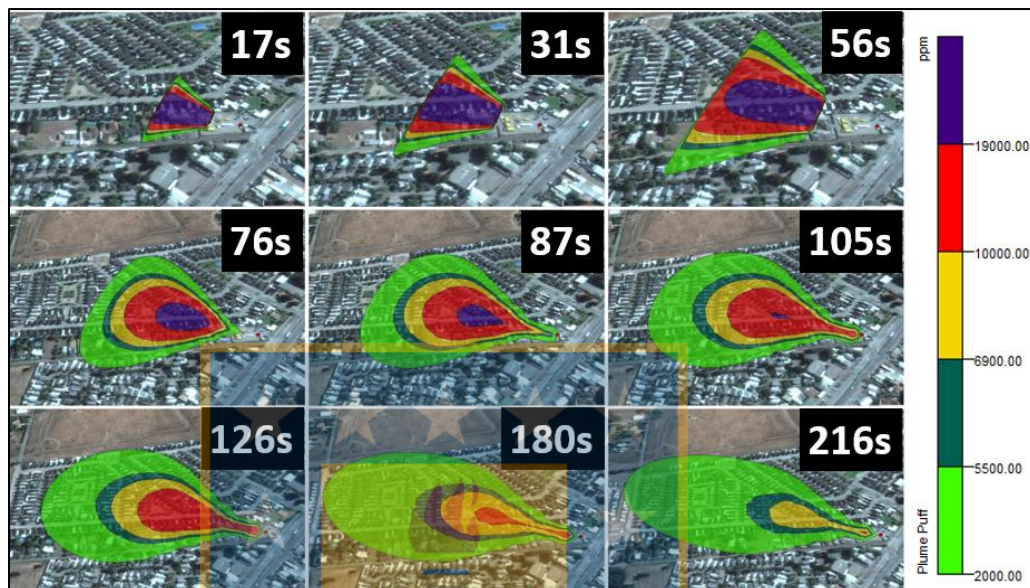


2. Puntos categorizados con riesgo clase “D”

2.1. Punto 24, fuga de estanque con capacidad de 11 m³ ubicado en una distribuidora de gas, coordenadas UTM 736350 O, 5848000 S, dirección del viento 270° con una frecuencia de 0,23%.



2.2. Punto 25, fuga de estanque con capacidad de 11 m³ ubicado en una distribuidora de gas, coordenadas UTM 735482 O, 5851908 S, dirección del viento 292° con una frecuencia de 0,34%.



2.3. Punto 26, fuga de estanque con capacidad de 49 m³ ubicado en una distribuidora de gas, coordenadas UTM 735467 O, 5851911 S, dirección del viento 292° con una frecuencia de 0,34%.

