



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIONES
Y ESTUDIOS SOBRE MEDIO AMBIENTE
Y DESARROLLO**

**RIESGOS EN ASENTAMIENTOS HABITACIONALES POR
LA CERCANÍA CON ÁREAS DE ALMACENAMIENTO DE
GAS L.P. EN SAN JUAN IXHUATEPEC**

Tesis que presenta:

ING. ZULLY ANNAIS BALLESTEROS GÓMEZ

Para obtener el grado de:

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ESTUDIOS AMBIENTALES Y DE LA
SUSTENTABILIDAD**

Director de tesis:

DR. RUBÉN CANTÚ CHAPA

Co director de tesis:

DR. ROQUE JUAN CARRASCO AQUINO

Comité tutorial:

DRA. LUZ ARCELIA GARCÍA SERRANO

DR. PEDRO LINA MANJARREZ

M. EN C. LORENZO ZAMBRANO SALGADO

CIUDAD DE MÉXICO

DICIEMBRE, 2018





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-14-BIS

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México siendo las 13:00 horas del día 28 del mes de noviembre del 2018 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIEMAD-IPN para examinar la tesis titulada:

Riesgos en asentamientos habitacionales por la cercanía con áreas de almacenamiento de gas L.P. en San Juan Ixhuatepec

Presentada por la alumna:

BALLESTEROS

Apellido paterno

GÓMEZ

Apellido materno

ZUILLY ANNAIS

Nombre(s)

Con registro:

B	1	6	0	2	8	4
---	---	---	---	---	---	---

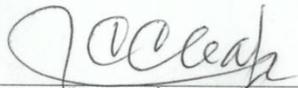
aspirante de:

Maestría en Ciencias en Estudios Ambientales y de la Sustentabilidad

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

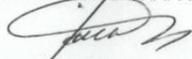
Directores de tesis



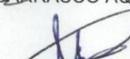
DR. RUBÉN CANTÚ CHAPA



DR. ROQUE JUAN CARRASCO AQUINO



DR. PEDRO LINA MANJARREZ

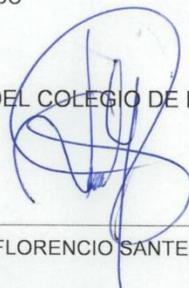


DRA. LUZ ARCELIA GARCÍA SERRANO



M. EN C. LORENZO ZAMBRANO SALGADO

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES



DR. VÍCTOR FLORENCIO SANTES HERNÁNDEZ



PODER EJECUTIVO FEDERAL
ESTADOS UNIDOS MEXICANOS
MEXICO, D.F.
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN
PÚBLICA
INSTITUTO POLITÉCNICO
NACIONAL
CIEMAD
DIRECCIÓN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, el día 28 del mes de noviembre del año 2018, el (la) que suscribe Zuilly Annais Ballesteros Gómez alumno(a) del Programa de Maestría en Ciencias en Estudios Ambientales y de la Sustentabilidad, con número de registro B160284, adscrito(a) al Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo, manifiesto(a) que es el (la) autor(a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del (de la, de los) Dr. Rubén Cantú Chapa y Dr. Roque Juan Carrasco Aquino y cede los derechos del trabajo titulado Riesgos en asentamientos habitacionales por la cercanía con áreas de almacenamiento de gas L.P. en San Juan Ixhuatepec, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del (de la) autor(a) y/o director(es) del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones zuillyabg@hotmail.com o zuillyabg@gmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.



Zuilly Annais Ballesteros Gómez
Nombre y firma del alumno(a)

Resumen

Tlalnepantla de Baz es uno de los municipios con mayor desarrollo industrial dentro del Estado de México, cuenta con 16 Fraccionamientos industriales. En la zona oriente de este municipio se ubican 6 de las 9 plantas almacenadoras y distribución de Gas L.P., las cuales suministran esta sustancia a la población del Estado de México y Ciudad de México. En la década de los años 50's el Gobierno del Estado de México propició el desarrollo industrial dentro del municipio de Tlalnepantla de Baz, lo que ocasionó que zonas que en esos años eran consideradas a las afueras de la ciudad con el paso del tiempo y para satisfacer los servicios que se demandaban se fueron poblando de asentamientos no regulados. Actualmente el Fraccionamiento Industrial La Presa está rodeado por asentamientos habitacionales, muchos de los cuales son considerados como irregulares. Así pues, las personas que habitan en la periferia de dicho fraccionamiento están expuestas constantemente a peligros asociados a la actividad industrial. En este contexto, el presente estudio aborda el alcance que podría alcanzar un accidente del tipo BLEVE-Bola de fuego que se pudiera presentar en alguna de las 6 plantas almacenadoras de Gas L.P. dentro de la colonia San Juan Ixhuatepec, teniendo como antecedente el accidente ocurrido el 19 de noviembre de 1984. Para determinar las consecuencias por los Efectos térmicos se utilizó el simulador SCRI-fuego Modelos de simulación para análisis de consecuencias por fuego y explosiones; para los efectos mecánicos se hicieron cálculos de sobrepresión máxima por medio de 3 métodos distintos y para determinar el alcance de los fragmentos se utilizó la fórmula de distancia de fragmentos para tanques cilíndricos. Se llevaron a cabo entrevistas a profundidad con actores principales, como lo son Protección Civil y representantes de gaseras y población, con el objetivo de saber qué medidas de seguridad se tienen implementadas en caso de un accidente en la zona. Por medio de datos de censos de población de INEGI e imágenes históricas de la zona, fue posible tener una idea de cómo se encontraba el área de estudio desde la década de los 50's. Se determinó que al menos debería de existir una distancia mínima de 300 m entre las zonas de almacenamiento de gas L.P. y los asentamientos. Las entrevistas permitieron conocer que hay una falta de comunicación entre la población con las autoridades y gaseras. Las fotos históricas permiten observar que cuando la zona industrial comenzó a desarrollarse, los asentamientos estaban a una distancia considerable de esta.

Palabras clave: Riesgo Ambiental, San Juanico, San Juan Ixhuatepec, Gas L.P., BLEVE

Abstract

Tlalnepantla de Baz is one of the municipalities with greater industrial development within the Mexico State, has 16 industrial zones. In the eastern part of this municipality, 6 of the 9 storage and distribution plants of Gas L.P. are located, which are supplied in the population of Mexico State and Mexico City. In the decade of the 50s, the Government of Mexico State propitiate the industrial development within the municipality of Tlalnepantla de Baz, this cause that areas that considered outside city were demand by unregulated settlements. Currently, La Presa Industrial Zone is surround by settlements, many of which are consider irregular. Thus, the people who live in the periphery of this Industrial Zone are constantly in a dangerous situation about industrial activity. In this context, the present study approaches the range that could affect the population an produced an accident like BLEVE-Fireball type that can occur in any of the six LP-Gas storage plants within the San Juan Ixhuatepec colony, having as an antecedent the accident occurred on November 19, 1984. To determine the consequences of thermal effects, the SCRI-fire simulator is used. Simulation models for the analysis of the consequences of fire and explosions; for mechanical effects, maximum overpressure calculations were made for three different methods and to determine the range of the fragments the distance fragments for cylindrical tanks formula were use. An interview was conducted with the main actors, such as Proteccion Civil and gas and population representatives, with the objective of knowing what security measures have been implemented in the case of an accident in the area. Data from population censuses and historical images of the area were used to have an idea of how the study area looked like in 1950s. It was determined that there should at least a distance of 300 m between the L.P. gas storage areas and the settlements. The interviews allowed knowing that there is a lack of communication between the population with the authorities and the gas companies. The historical photos allow seeing when the industrial zone begins to develop because the settlements were at a considerable distance from it.

Keywords: Environmental Risk, San Juanico, San Juan Ixhuatepec, L.P. Gas, BLEVE

Agradecimientos

Gracias a CONACYT por el apoyo económico recibido durante mi estancia en la maestría. Gracias al Instituto Politécnico Nacional por darme la oportunidad una vez más de poder adquirir conocimientos en una de sus escuelas.

Gracias a la Secretaría de Investigación y Posgrado por el apoyo recibido.

Gracias al CIEMAD por estos dos años y medio de experiencias, algunas buenas y otras no tanto, pero al fin y al cabo fueron aprendizajes que me ayudarán en mi futuro.

Gracias a mi director de tesis Dr. Rubén Cantú, que siempre tuvo alguna experiencia o chiste que compartir conmigo.

Gracias a mi comité tutorial por el apoyo brindado, Dr. Roque Carrasco, Dr. Pedro Lina, Dra. Luz Serrano y M. en C. Lorenzo Zambrano.

Gracias a los doctores con los que tuve oportunidad de tomar clases.

Gracias al personal administrativo del CIEMAD.

Gracias al Dr. Joaquim Casal del Centro de Estudios de Riesgo Tecnológico de la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, por darme la oportunidad de compartir un poco de sus conocimientos. A los compañeros del CERTEC por sus atenciones durante mi estancia.

Gracias a mis amigos y compañeros de generación, lo mejor que me dejó la maestría, Dianyss, Alma, Karen, Zemei, Aquileo e Ivar.

Gracias a los compañeros y alumnos del CIEMAD con los que tuve la oportunidad de convivir.

Gracias a mis amigos por siempre estar allí, Jhoan, Cortés, Kashmir, Dave, Eric, Chucho, Leelee, Lalo, David, Jess, Anahí, Toño, Vik, Jaime, Richard, Ceci y Migue.

Pero sobre todo Gracias a mi familia sin ustedes no sé qué haría. Los amo.

Dedicatoria

A mi mamá, mis hermanos y sobrina.

Contenido

Resumen	iii
Abstract	iv
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
HIPÓTESIS	4
OBJETIVO GENERAL.....	4
OBJETIVOS PARTICULARES	4
CAPÍTULO 2. RIESGO: CONCEPTOS.....	5
2.1. BLEVE- BOLA DE FUEGO	8
2.2. BOLA DE FUEGO: EFECTOS TÉRMICOS	9
2.3. EXPLOSIÓN: EFECTOS MECÁNICOS.....	11
2.4. FRAGMENTOS	13
2.5. CONSECUENCIAS	14
2.6. RIESGO AMBIENTAL EN LA LEGISLACIÓN	16
CAPÍTULO 3. GAS L.P.....	21
3.1. CARACTERÍSTICAS.....	21
3.2. TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE GAS L.P.	23
3.3. DEMANDA DE GAS L.P.	23
3.4. INFRAESTRUCTURA PARA OBTENCIÓN DE GAS L.P. EN MÉXICO	24
3.5. ACCIDENTES ASOCIADOS A GAS L.P.	26
CAPÍTULO 4. ANTECEDENTES	30
4.1. ÁREA DE ESTUDIO.....	30
4.1.1. Descripción del Fraccionamiento Industrial La Presa	30
4.1.2. Descripción Colonia San Juan Ixhuatepec.....	31
4.1.3. Accidente en San Juan Ixhuatepec 19 de noviembre 1984.....	36
CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA.....	38
5.1. DETERMINACIÓN DE RADIOS DE AFECTACIÓN	38
5.2. ENTREVISTAS A PROFUNDIDAD CON ACTORES PRINCIPALES	47

5.3. DETERMINACIÓN DE LOS CAMBIOS EN LOS ASENTAMIENTOS HABITACIONALES
47

CAPÍTULO 6.	RESULTADOS	48
CAPÍTULO 7.	DISCUSIÓN.....	79
CAPÍTULO 8.	CONCLUSIONES.....	87
CAPÍTULO 9.	BIBLIOGRAFÍA.....	89

Lista de Anexos

- Anexo 1. Resultados de las simulaciones por efectos térmicos
- Anexo 2. Hoja de cálculo para efectos mecánicos
- Anexo 3. Fotografías
- Anexo 4. Hoja de Datos de Seguridad de gas L.P.

Lista de tablas

Tabla 1. Efectos de la radiación térmica	10
Tabla 2. Consecuencias de la sobrepresión en personas.	12
Tabla 3. Consecuencias de la sobrepresión sobre edificios y equipos	12
Tabla 4. Estados con mayor demanda de gas L.P.	24
Tabla 5. Permisos otorgados por la Comisión Reguladora de Energía	25
Tabla 6. Permisos vigentes en la zona de estudio.....	25
Tabla 7. Sustancias químicas de mayor peligro en México.....	26
Tabla 8. Estados con mayor número de sustancias almacenadas.....	26
Tabla 9. Porcentaje de riesgos mayores debido al uso de gas L.P.....	27
Tabla 10. Porcentaje de accidentes por sector que involucran gas L.P.	27
Tabla 11. Principales accidentes que involucran gas L.P.....	28
Tabla 12. AGEB en área de estudio	34
Tabla 13. Criterios considerando radiación térmica.....	40
Tabla 14. Criterios de sobrepresión para simulación por explosión	44
Tabla 15. Criterios de distancia para simulación por explosión.....	44
Tabla 16. Equivalencia entre valores PROBIT y porcentaje de población afectada	46
Tabla 17. Resultados de radio de afectación por efectos térmicos obtenidos por el simulador.....	49
Tabla 18. Resumen de resultados de consecuencias a equipo, materiales y personas	50
Tabla 19. Número de personas, AGEB y manzanas por radio de afectación	58
Tabla 20. Número de personas, AGEB y manzanas por radio de afectación por gasera	58
Tabla 21. <i>Datos utilizados para cálculos de sobrepresión</i>	61
Tabla 22. Resultados de sobrepresión por distancia establecida en proceso isentrópico	61
Tabla 23. Resultados de distancia por presión establecida en proceso isentrópico	62
Tabla 24. Resultados de sobrepresión por distancia establecida en proceso irreversible	62
Tabla 25. Resultados de distancia por presión establecida en proceso irreversible	62
Tabla 26. Resultados de sobrepresión por distancia establecida por gráfico de curvas características	63
Tabla 27. <i>Resultados de distancia por presión establecida por gráfico de curvas características</i> ..	63
Tabla 28. Resultados de sobrepresión por distancia establecida por gráfico de curvas características	63
Tabla 29. Resultados de distancia por presión establecida por gráfico de curvas características ..	64
Tabla 30. Resumen de resultados de sobrepresiones a distancias establecidas para tanques de 250 m ³	64
Tabla 31. Resumen de resultados de distancias a presiones establecidas para tanques de 250 m ³	64

Tabla 32. Resumen de resultados de sobrepresiones a distancias establecidas para tanques de 200 m³ 65

Tabla 33. Resumen de resultados de distancias a presiones establecidas para tanques de 200 m³ 65

Tabla 34. Resultados obtenidos Metodología PROBIT para lesiones por efecto térmico..... 66

Tabla 35. Número de personas con base al % de la metodología PROBIT 66

Tabla 36. Resultado de distancias de fragmentos 67

Tabla 37. Habitantes por censo en San Juan Ixhuatepec 68

Tabla 38. Población actual en San Juan Ixhuatepec 68

Tabla 39. Resultados de escenarios elegidos 81

Tabla 40. Valores utilizados para representación gráfica 81

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema del conjunto BLEVE-bola de fuego.....	8
Figura 2. Forma de la onda de sobrepresión (A) detonaciones y (B) deflagraciones.	11
Figura 3. Roturas comunes de recipientes cilíndricos	13
Figura 4. Distribución de fragmentos de recipientes cilíndricos.....	13
Figura 5. Accidente de desplome de helicóptero en el predio	15
<i>Figura 6. Área de estudio.....</i>	<i>32</i>
Figura 7. Gaseras en área de estudio.....	33
Figura 8. AGEB en área de estudio	35
Figura 9. Accidente en San Juan Ixhuatepec 19 de noviembre 1984.	37
Figura 10. Gráfica de sobrepresión en función de distancia escalada tomada de Casal, 2018 (Fig. 4.4)	42
Figura 11. Gráfica Curva característica para recipientes cilíndricos tomada de Casal, 2018 (Fig. 5.15)	43
<i>Figura 12. Resultados por Bola de Fuego en Gasera 1</i>	<i>51</i>
<i>Figura 13. Resultados por Bola de Fuego en Gasera 2</i>	<i>52</i>
<i>Figura 14. Resultados por Bola de Fuego en Gasera 3</i>	<i>53</i>
<i>Figura 15. Resultados por Bola de Fuego en Gasera 4 (250 m³).....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 16. Resultados por Bola de Fuego en Gasera 4 (200 m³).....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 17. Resultados por Bola de Fuego en Gasera 5</i>	<i>56</i>
Figura 18. Resultados por Bola de Fuego en Gasera 6	57
Figura 19. AGEB y Radios de Afectación	60
Figura 20. Fotos aéreas históricas año 1953.....	70
Figura 21. Fotos aéreas históricas año 1966.....	71
Figura 22. Fotos aéreas históricas año 1972.....	72
Figura 23. Fotos aéreas históricas año 2007	73

Acrónimos y Abreviaturas

AAR	Actividades Altamente Riesgosas
ACGIH TLV	Concentración promedio segura, debajo de la cual se cree que casi todos los trabajadores se pueden exponer día tras día sin efectos adversos
AGEB	Áreas Geoestadísticas Básicas
AICHE	Instituto Americano de Ingenieros Químicos
ARAMIS	Accidental Risk Assessment Methodology for Industries - Metodología de evaluación de riesgos para las industrias
ASEA	Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion- Explosión por vapor de un líquido en ebullición
CENAPRED	Centro Nacional de Prevención de Desastres
CNH	Comisión Nacional de Hidrocarburos
CPG	Complejo Procesador de Gas
CRE	Comisión Reguladora de Energía
CRETIB	Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable, Biológico Infeccioso
DENUE	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas
DOF	Diario Oficial de la Federación
EPA	Agencia de Protección al Ambiente
ERA	Estudio de Riesgo Ambiental
EvIS	Evaluación de Impacto Social
FEMA	Agencia de Administración Federal de Emergencias de los EUA
Gas L.P.	Gas Licuado de Petróleo
HAZOP	Análisis de Riesgo y Operabilidad
HDS	Hoja de Datos de Seguridad
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
LGEEPA	Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
Mbd	Miles de barriles diarios
MIA	Manifestación de Impacto Ambiental
NIOSH REL	Exposición a esta concentración promedio durante una jornada de ocho horas
NOAA	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica
OSHA PEL	Límite de exposición permisible durante jornadas de ocho horas para trabajadores expuestos día tras día sin sufrir efectos adversos

PAMI	Programa de Ayuda Mutua Industrial
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PPA	Programa para la Prevención de Accidentes
PPT	Promedio Ponderado de tiempo
RMP	Risk Management Plan / Plan de Gestión de Riesgos
SEGOB	Secretaría de Gobernación
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía
SGA	Sistema Globalmente Armonizado
SIG	Sistemas de Información Geográfica
VCE	Explosión de Nubes de Vapor Confinado

**RIESGOS EN ASENTAMIENTOS HABITACIONALES
POR LA CERCANÍA CON ÁREAS DE ALMACENAMIENTO DE GAS L.P.
EN SAN JUAN IXHUATEPEC**

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Durante nuestro día con día es común que utilicemos sustancias químicas para realizar nuestras actividades, algunas de estas suelen tener alguna característica fisicoquímica que dependiendo del uso que se le dé, podría ser dañina a la salud, ambiente o infraestructura. Este es el caso del Gas L.P., que diariamente utilizamos en casa tanto para cocinar o bañarnos o en alguna industria, esta sustancia es inflamable o en algunas ocasiones explosiva, por lo tanto, para su uso, almacenamiento y transporte es necesario cumplir con medidas de seguridad.

Durante mi experiencia laboral realicé algunos Estudios de Riesgo Ambiental, dentro de los que me pude percatar que el punto de vista de la población circundante a alguna instalación no se considera, únicamente se incluye una pequeña descripción socioeconómica del área. Actualmente para proyectos del sector Hidrocarburos es necesario realizar una Evaluación de Impacto Social y Ambiental en la cual la descripción que se hace de la zona es más detallada, pero ¿las empresas capacitan a la población circundante en caso de emergencia? ¿hay interés por parte de las personas que viven a los alrededores? ¿las personas conocen los riesgos a los que están expuestos en la zona en la que viven? ¿la comunicación de riesgos únicamente se pone en marcha cuando ocurre un evento?

El área de estudio también se eligió resultado a mi experiencia laboral. Una zona en la que se desarrolla industria muy cerca de la Gran Ciudad de México, la cual proporciona trabajo a muchas personas, que permite que una sustancia que es ampliamente usada en los hogares este a disposición para cubrir la necesidad que el área metropolitana demanda, zona en la cual en el pasado ocurrió un evento catastrófico que ocasionó muchas muertes y pérdidas económicas.

Las zonas industriales son superficies geográficas diseñadas para el desarrollo de plantas industriales en condiciones adecuadas de ubicación, infraestructura, equipamiento y servicios

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN



básicos (Secretaría de Economía, 2011) en las que se concentran actividades de diferente giro como por ejemplo industria química, industria del papel, industria metálica básica, etc. (INEGI, 2013) y en las que la naturaleza de las actividades realizadas son distintas como por ejemplo almacenamiento, fabricación, fundición, extracción, entre otros y las cuales se pueden dividir en industria pesada, mediana y ligera (Municipio de Tlalnepantla de Baz, 2008) o en industrias de bienes finales o de bienes intermedios (Valverde, 2001).

De acuerdo con Reboratti (2000) la relación entre las instalaciones industriales y la población son evidentes, puesto que una proporciona la mano de obra que la otra necesita y la otra recibe el beneficio económico o del producto/servicio. De igual manera, las zonas urbanas son “atractivas” para albergar las zonas industriales, puesto que se cuenta con fuerza de trabajo, capital, mercados de consumo, concentración de infraestructura y servicios (Valverde, 2001). En México, según datos del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) del INEGI existen 529 601 industrias manufactureras en el país, los estados que con mayor número son Estado de México, Jalisco, Oaxaca y Puebla (INEGI, 2017).

A medida que las industrias fueron creciendo y los procesos industriales y comerciales se volvieron más complejos y demandantes de insumos, los impactos socioambientales hacia las poblaciones circundantes comenzaron a acrecentarse, padeciendo un crecimiento demográfico y transformación del territorio (Reboratti, 2000). Asimismo desde hace algún tiempo la saturación de las ciudades y el encarecimiento del suelo han propiciado la descentralización de la industria hacia las periferias metropolitanas (Valverde, 2001).

Con el crecimiento de la industria y sus impactos, los alrededores de estas zonas industriales se transformaron en lugares vulnerables debido a que se asentaron en su mayoría personas de escasos recursos, las cuales por el costo del suelo les es más rentable vivir en ese lugar y que a pesar de que esta situación está cambiando gradualmente, principalmente por la “concientización ambiental en la sociedad” aún en los países menos desarrollados se sigue presentando esta situación (Reboratti, 2000).

Algunos de los factores que han tenido mayor peso en la estructuración del espacio industrial según Valverde son: mercado al que se destina la producción, el valor del suelo, el transporte y la accesibilidad, la normatividad y la inercia de la actividad industrial. Para este último factor en específico indica que hay situaciones en las que por la expansión de la ciudad las industrias establecidas anteriormente en la periferia hoy en día tienen una localización central (Valverde, 2001).

Las actividades que se desarrollan en estas zonas traen algunos beneficios a la población, principalmente empleos directos e indirectos, sin embargo, también existen desventajas o riesgos,

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN



dentro de los cuales se puede mencionar la contaminación a la atmósfera derivada de la emisión de gases y ruido y la generación de residuos, la contaminación del agua y el suelo, los cuales pueden considerarse de los problemas globales más importantes actualmente.

Bajo este contexto, es importante destacar el Riesgo generado por sustancias químicas peligrosas que se define como el producto de la frecuencia de un evento por la magnitud de las consecuencias, siendo sus unidades normalmente muertes/ unidad de tiempo o dinero/unidad de tiempo. Los riesgos asociados a accidentes mayores que generalmente tienen consecuencias considerables a la población, ambiente y economía son explosiones, incendios, fugas o derrames, mismos que pueden ser prevenidos o minimizados mediante el Análisis de Riesgo o Estudio de Riesgo Ambiental.

En este sentido, la implementación y/o ejecución de Análisis de Riesgo Ambiental cobra una enorme importancia ya que mediante estos análisis y simulaciones es posible coadyuvar en la toma de decisiones y con el beneficio de evitar pérdidas humanas, así como daños ambientales o económicos.

El presente trabajo propone establecer las zonas de riesgo ocasionados por el uso de gas L.P. simulando un evento BLEVE- Bola de fuego, por medio del simulador SCRI fuego y uso de Sistemas de información Geográfica (SIG).

Lo anterior se realizó tomando como caso de estudio la zona industrial Fraccionamiento Industrial La Presa y la colonia San Juan Ixhuatepec ubicados en el municipio de Tlalnepantla de Baz, Estado de México.

HIPÓTESIS

El crecimiento no controlado de las ciudades, la falta de vigilancia por parte de las autoridades competentes y la laxa legislación propician que asentamientos humanos se establezcan cercanos a zonas industriales en las que se almacenan y/o manejan sustancias químicas peligrosas generando riesgos potenciales. Caso de estudio San Juan Ixhuatepec y zonas de almacenamiento de gas L.P.

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar los Riesgos Ambientales potenciales a los que está expuesta la población de San Juan Ixhuatepec debido a su cercanía con las zonas de almacenamiento de gas L.P. en la Zona industrial La Presa mediante el Análisis de consecuencias.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar los radios de afectación que pudieran generarse como consecuencia de un evento BLEVE- Bola de fuego relacionado con el almacenamiento de gas L.P.
- Identificar si los actores principales (población, autoridades, gaseras) están preparadas en caso de algún evento mayor.
- Analizar el crecimiento espacial histórico de los asentamientos habitacionales en San Juan Ixhuatepec.

CAPÍTULO 2. RIESGO: CONCEPTOS

El Riesgo se puede definir de distintas formas, de acuerdo con el autor y el tema que se aborde. Algunas definiciones de Riesgo se presentan a continuación:

Santamaría lo define como la posibilidad de sufrir una pérdida, o como una medida de pérdida económica o daño a las personas expresado en función de la frecuencia del suceso y la magnitud de las consecuencias (Santamaría & Braña, 1994).

Casal menciona distintas definiciones, dentro de las cuales indica que es una medida de lesiones humanas, daño ambiental o pérdida económica en términos de la frecuencia del evento y la magnitud de la pérdida o lesión. El riesgo es posible calcularlo multiplicando la frecuencia de ocurrencia de un evento por la magnitud de sus posibles consecuencias (Casal, 2018).

King lo define como la probabilidad matemática de que ocurra un evento específico indeseado, en circunstancias específicas o dentro de un periodo específico (King, 1990).

Así pues, en el presente trabajo se toma la definición de Riesgo como el producto de la frecuencia de un evento por la magnitud de sus consecuencias.

$$\text{Riesgo} = \text{frecuencia de un suceso} \times \text{magnitud de las consecuencias}$$

Siendo sus unidades normalmente muertes/unidad de tiempo o dinero/ unidad de tiempo.

En este sentido es importante hacer la aclaración que la palabra peligro difiere del concepto de riesgo. El peligro es una condición física o química que puede causar daño a las personas, al ambiente o a la propiedad (Santamaría & Braña, 1994).

El Riesgo tiene distintas clasificaciones, de acuerdo con el tema que se esté manejando. En el presente trabajo se colocan algunas de ellas enfocadas al manejo de sustancias químicas.

Clasificación de riesgos por fuente (SEMARNAT, 2015)

- *Riesgos Naturales*, son los asociados a fenómenos geológicos, como erupciones volcánicas o terremotos.
- *Riesgos Antropogénicos*, son los asociados a las actividades humanas, como explosiones o nubes tóxicas por el uso y manejo de sustancias químicas.
- *Riesgos NaTech*, este término es usado cuando ocurren simultáneamente los dos tipos de riesgos anteriores.

Clasificación de riesgos (Casal, 2018)

- *Categoría A*. Aquellos que son inevitables y aceptados sin compensación (ej. muerte causada por un rayo).
- *Categoría B*. Aquellos que estrictamente hablando son evitables, pero se consideran inevitables en la vida cotidiana. (ej. muerte por accidente de tráfico)
- *Categoría C*. Aquellos que son claramente evitables, pero que las personas se exponen por considerarlo gratificante (ej. escalar)

Clasificación de riesgos por actividades industriales (Casal, 2018)

- *Riesgos convencionales*. Aquellos relacionados con actividades y equipos que habitualmente se encuentran en todo tipo de industria.
- *Riesgos específicos*. Aquellos asociados con el manejo y uso de sustancias consideradas como peligrosas debido a sus propiedades o naturaleza.
- *Riesgos graves*. Aquellos relacionados con accidentes excepcionales y situaciones con consecuencias especialmente severas debido a la liberación de grandes cantidades de energía o sustancias peligrosas en períodos cortos de tiempo.

Riesgo individual. Es el riesgo al que está sometida una persona que se encuentra en una determinada localización 24 h/día, 365 días/año; sus unidades: muertes/persona · año.

Riesgo social. Frecuencia con la que un grupo de personas sufrirá determinadas consecuencias como resultado de algún evento, en un período de un año (Lopez Atamoros, 2013).

El presente trabajo está orientado a los riesgos asociados a accidentes mayores como pueden ser: incendios (pool fire, tank fire, jet fire, bolas de fuego) o explosiones (de nubes de vapor o VCE, BLEVE, recipientes a presión o por polvos). En el presente estudio el accidente a considerar es el conjunto BLEVE-Bola de fuego.

CAPÍTULO 2. RIESGO: CONCEPTOS



Un Análisis Cuantitativo de Riesgos es un método sistemático y organizado para identificar y analizar la importancia de los peligros potenciales asociados con el manejo y procesamiento de sustancias químicas altamente peligrosas (Garza, 2015).

Los Análisis de Riesgo involucran principalmente las siguientes actividades:

- ✓ Identificación de los peligros
- ✓ Evaluación de sus efectos
- ✓ Probabilidad o frecuencia de ocurrencia
- ✓ Análisis de consecuencias

Para realizar estas actividades existen metodologías como lo son:

- ✓ Identificación de peligros
 - Eventos externos
 - Análisis histórico de accidentes
 - HAZOP (Hazard Operability Analysis o análisis de riesgo y operabilidad)

- ✓ Estimación de frecuencias
 - Árbol de fallos
 - Árbol de eventos
 - Utilización de datos standard procedentes de la experiencia

- ✓ Estimación de consecuencias
 - Modelos de vulnerabilidad

2.1. BLEVE- BOLA DE FUEGO

Una BLEVE es una explosión originada por la expansión de los vapores de un líquido en ebullición (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion). Este evento se presenta cuando un recipiente que contiene un líquido saturado a presión considerablemente superior a la atmosférica pierde resistencia mecánica, esto quiere decir, que el contenedor no resiste a la presión interior debido al calentamiento externo y a la pérdida de resistencia de su pared. La vaporización instantánea del líquido más la expansión del vapor preexistente originan una violenta explosión (BLEVE). Si el material contenido en el recipiente es inflamable (por ej. propano licuado), la explosión es seguida de la formación de una bola de fuego ("fireball"). Para este tipo de eventos la magnitud peligrosa del efecto térmico suele ser mayor a la del efecto mecánico (Casal et al., 2001).

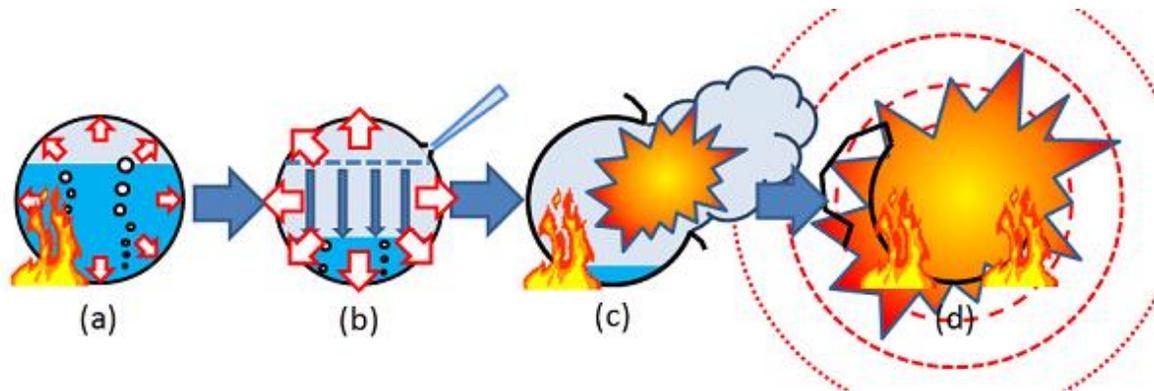


Figura 1. Esquema del conjunto BLEVE-bola de fuego

Fuente: <https://www.linkedin.com/pulse/boiling-liquid-expanding-vapor-explosion-bleve-anes-elabbani>

La secuencia del accidente BLEVE- bola de fuego (Fig. 1) consta de las siguientes etapas:

- (a) El recipiente que contiene líquido a presión recibe un flujo térmico procedente de una fuente externa de calor, por ejemplo, un incendio.
- (b) Al cabo de cierto tiempo las paredes no resistirán la elevada presión a las que están sometidas y cederán.
- (c) Por lo regular, es en la parte superior del recipiente en la cual cede y se rompe, puesto que no está bañada/refrigerada por el líquido; de este modo aumenta su temperatura y disminuye su resistencia mecánica, mientras la presión sigue aumentando.
- (d) Se producirá una vaporización instantánea que verterá una mezcla de líquido/vapor de la sustancia; el extraordinario incremento de volumen de vapor/gas respecto al del líquido generará una onda de presión (explosión o estallido), que en algunos casos puede ser muy potente. Si la sustancia es inflamable, a continuación se producirá una bola de fuego que dará lugar a un extraordinario flujo calorífico (radiación).

Los efectos de la combinación de BLEVE-bola de fuego se pueden sintetizar como sigue (Casal et al., 2001):

- ✓ Radiación térmica (Bola de fuego)
- ✓ Onda de sobrepresión (Explosión)
- ✓ Fragmentos despedidos por la explosión
- ✓ Lluvia de combustible en los alrededores (solo se ha presentado en lo ocurrido en San Juan Ixhuatepec en 1984).

Para que existiera realmente una BLEVE se había considerado tradicionalmente que debería presentarse sobrecalentamiento importante del líquido, concretamente superior a su temperatura límite de sobrecalentamiento y despresurización súbita. Sin embargo, esta teoría está siendo abandonada hoy en día y se considera simplemente que es necesario cierta sobrepresión respecto a la presión atmosférica.

Podría darse el caso que un evento genere otro y así sucesivamente, a esto se le conoce como efecto domino. Como cita Bernechea (2013), el efecto domino se define como una cascada de eventos en la que las consecuencias de previos accidentes se incrementan espacial y temporalmente por los accidentes sucesivos, generando un accidente con consecuencias mayores.

2.2. BOLA DE FUEGO: EFECTOS TÉRMICOS

Este tipo de eventos pueden ocurrir cuando se almacenan sustancias inflamables presurizadas en tanques. En ellos una gran cantidad de energía térmica es liberada (radiación térmica), la cual está en función de la masa contenida en el recipiente en el momento de la explosión.

La radiación térmica es una forma de transmisión del calor generado por un cuerpo; ésta es emitida en forma de ondas electromagnéticas y no requiere de un medio conductor, por lo cual se propaga instantáneamente por espacios libres. Se mide determinando su intensidad (kW) por unidad de superficie (m^2). Para poder tener una idea de esta radiación se tiene el dato que en una tarde soleada de verano la radiación procedente del sol a nivel del mar varía entre 1 y 1.3 kW/ m^2 (Leza, Escriña & Asociados, 2015).

En la Tabla 1 se presentan los efectos de la radiación térmica principalmente a las personas expuestas; hay que tener en cuenta que se trata de valores aproximados, ya que valores ligeramente distintos han sido propuestos por diversos autores. Las consecuencias debidas a los efectos térmicos de las bolas de fuego suelen ser lesiones del tipo quemaduras de primer, segundo o tercer grado o

la muerte. Los efectos sobre las infraestructuras y equipos son principalmente daños o pérdida de integridad mecánica.

Otro aspecto por considerar es el contacto directo de las llamas con equipo o con personas. Esto puede ocurrir en los primeros momentos, cuando la bola de fuego se forma a ras del suelo. Sus consecuencias sobre el equipo no suelen ser importantes, pero para las personas implica casi siempre la muerte.

Tabla 1. Efectos de la radiación térmica

Radiación térmica (kW/m ²)	Efectos
1.0-1.3	Radiación del sol a nivel de mar en verano
1.4	Máximo soportable para individuos sin ropa de protección especial
1.6	No causara molestias a exposiciones prolongadas
1.7	Mínimo requerido para sentir dolor
2.1	Mínimo requerido para sentir dolor después de 1 minuto
4.0	Suficiente para causar dolor después de exposiciones mayores a 20 s; es posible aparición de ampollas en la piel, 0% de letalidad
4.7	Causa dolor en 15-20 s, quemaduras de primer grado después de 20 s
7.0	Máximo tolerable por bomberos los cuales están completamente protegidos (ropa clásica de protección)
10	Límite para muerte por exposición a 20 s
11.7	El acero delgado y parcialmente aislado puede perder su integridad mecánica
12.5	El aislamiento plástico de cables eléctricos se derrite; fusión de tubos de plástico; 100% letalidad
15.0	Intensidad de radiación crítica para madera (ignición de llama sin contacto con la superficie)
25.0	Altas probabilidades de muerte en una exposición de 20 s. El acero delgado y aislado puede perder su integridad mecánica
35.0	Muy altas probabilidades de muerte en una exposición de 20 s. Intensidad de radiación crítica para madera y textiles (sin ignición de flama). Valor límite de ignición para construcciones.
37.5	Daño a equipo de procesos, colapso de estructuras

Fuente: Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants, Casal, 2018

2.3. EXPLOSIÓN: EFECTOS MECÁNICOS

Una explosión puede definirse como una liberación repentina e intensa de una gran cantidad de energía que origina la expansión violenta de gas o vapor. Esta expansión o incremento del volumen da lugar a una onda de sobrepresión que puede tener importantes efectos destructivos tanto sobre instalaciones como sobre personas (EPA & NOAA, 2007).

La principal diferencia entre un incendio y una explosión es la velocidad a la que se produce la liberación de la energía. Dicha velocidad es considerablemente menor en los incendios, ya que las explosiones liberan energía de manera súbita y violenta, prácticamente instantánea. Además, la explosión no requiere la ocurrencia de fuego, puede deberse únicamente a la expansión de un gas presurizado. Generalmente las explosiones se clasifican de acuerdo al tipo de energía que las origina (Santamaría & Braña, 1994).

La onda de sobrepresión es la energía mecánica de la presión que se mueve a gran velocidad a través de la atmósfera. Las explosiones pueden ser del tipo detonaciones o deflagraciones (Figura 2). Las detonaciones son aquellas en las que la onda de sobrepresión se propaga a través de la atmósfera a velocidades supersónicas. Las deflagraciones son caracterizadas por ser más suaves y propagarse a velocidades subsónicas (Casal, 2018).

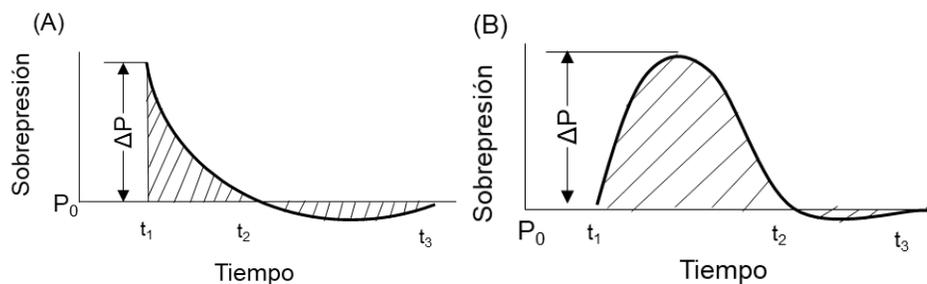


Figura 2. Forma de la onda de sobrepresión (A) detonaciones y (B) deflagraciones.

Fuente: Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants, Casal, 2018

La intensidad de estos eventos (pico de sobrepresión) se presenta con unidades de presión (psi, bar, kPa). Los efectos directos de las explosiones se relacionan con lesiones a las personas o daños a la propiedad, como se muestra en la Tabla 2. Las lesiones causadas de forma directa a las personas principalmente son daños a los pulmones (hemorragia pulmonar) y oídos (rotura del tímpano).

Además de estos efectos directos, este tipo de eventos genera efectos indirectos que pueden ser daños por desplazamiento del cuerpo, impactos por fragmentos como podrían ser vidrios o

escombros, y daños por derrumbamiento de edificios (Tabla 3). Cuando se realiza una simulación se debe tener en cuenta que la cantidad y tipo de equipos u obstáculos pueden modificar el trayecto y fuerza de la onda de sobrepresión.

Tabla 2. Consecuencias de la sobrepresión en personas.

Sobrepresión (bar)	Consecuencias
<0.01	Las personas deberán estar seguras dentro de estructuras reforzadas lejos de ventanas o tendidas en el suelo si se encuentran fuera.
0.07	Ligeras lesiones por fragmentos pueden ocurrir.
0.14	Las personas sufren lesiones por escombros o por impactarse con objetos.
>0.2	Heridas serias son comunes, pueden ocurrir muertes.
0.34	Ruptura de tímpanos en el 1% de las personas. Todos presentan lesiones, algunos incluso muerte.
0.7	Gran parte del total de personas mueren.
1	Límite de daño a los pulmones.
1.4	Próximo al 100% de muerte.

Fuente: Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants, Casal, 2018

Tabla 3. Consecuencias de la sobrepresión sobre edificios y equipos

Sobrepresión (bar)	Consecuencias
<0.01	Ruido molesto y rompimiento de vidrios.
0.07	Colapso de techo de un tanque.
0.14	Colapso parcial de paredes y techos de casas.
>0.2	Maquinaria en industrias puede sufrir pequeños daños, marco de acero de edificios se distorsiona y se aparta de los cimientos.
0.34	Postes de madera de teléfonos rotos; la mayor parte de los edificios destruidos, excepto por el refuerzo de las paredes de concreto.
0.7	Probable destrucción total de edificios; maquinaria pesada movida y seriamente dañada.

Fuente: Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants, Casal, 2018

2.4. FRAGMENTOS

Con respecto a los fragmentos que se pueden generar en una explosión, no es fácil determinar la cantidad, dirección exacta, forma, velocidad y comportamiento. Los fragmentos en algunos casos tienen un campo restringido al cual dirigirse, pero generalmente su radio de afectación es mayor al causado por los efectos térmicos y los mecánicos. Por esta razón, en muchas ocasiones estos fragmentos podrían ser los causantes del efecto domino. La velocidad requerida para que un tanque dañe a otro de las mismas características es de 4 a 12 m/s y la velocidad máxima que alcanza (dependiendo de ciertas variables) es de 100 a 200 m/s (Casal, 2018).

Se pueden considerar dos tipos de proyectiles:

- ✓ Primarios, piezas del recipiente o tanque.
- ✓ Secundarios, los cuales se generan por la aceleración de objetos cercanos como lo son las válvulas, tuberías, ladrillos, etc.

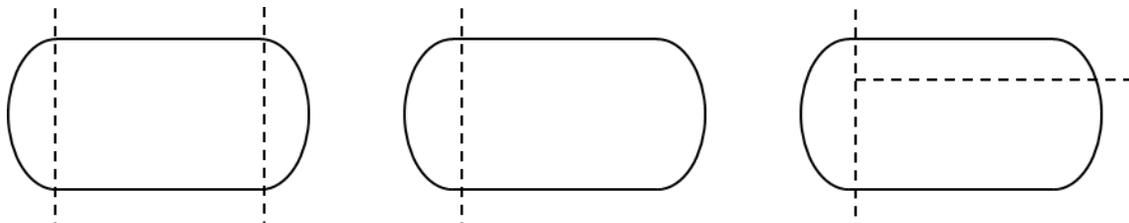


Figura 3. Roturas comunes de recipientes cilíndricos

Fuente: Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants, Casal, 2018

Generalmente los contenedores cilíndricos, suelen romperse en 2 o 3 piezas (Figura 3), a diferencia de los esféricos que van de 2 a 15 fragmentos, usualmente menos de 5. Es muy probable que los fragmentos de los contenedores cilíndricos sigan la dirección de su eje (Figura 4), mientras que en el caso de recipientes esféricos la trayectoria es impredecible.

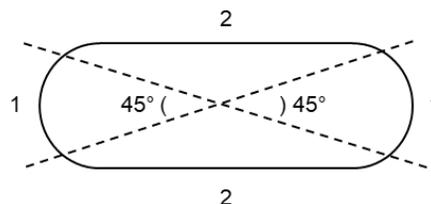


Figura 4. Distribución de fragmentos de recipientes cilíndricos

Fuente: Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants, Casal, 2018

2.5. CONSECUENCIAS

Como ya se mencionó uno de los peores escenarios al ocurrir un evento mayor es conocido como el conjunto BLEVE-Bola de fuego. En el mismo, sus efectos se traducen en radiación térmica, onda de sobrepresión y lanzamiento de fragmentos. Dichos efectos suelen generar daños o lesiones a personas, instalaciones y al ambiente y los que de igual manera repercuten en pérdidas económicas.

Algunas de las consecuencias que podrían causar los eventos mayores al presentarse son:

- Pérdida de vidas humanas.
- Daños físicos a las personas afectadas, ya sean de tipo temporal o permanente.
- Daños psicológicos.
- Aumento del nivel de estrés en los habitantes cercanos a la zona.
- Daños materiales a las instalaciones.
- Daños materiales a terceros.
- Daños al ambiente por incendio, emisión y/o la generación de calor.
- Daño moral de la empresa.
- Presiones sociales.
- En casos extremos, reubicación de la empresa.

(Alcántara & González, 2001)

Las causas de estos accidentes mayores pueden generarse por fenómenos naturales (tormentas, heladas, sismos, etc.), eventos externos (proximidad a instalaciones peligrosas, incendios, etc.), fallas en los equipos e instrumentación (fallas en sistema y/o equipos de control, equipos de seguridad, etc.), desviación de las condiciones normales de operación (falla en procedimientos, formación de productos o subproductos, etc.) o errores humanos y de organización (errores de operación, incorrecta reparación o mantenimiento, etc.) (Alcántara & González, 2001).

Los errores humanos y de organización suelen suceder debido a falta de conocimiento de los riesgos que implican los procesos, capacitación o adiestramiento insuficiente, cansancio mental o físico del personal, etc.

Algunas de las causas que generan los accidentes no son predecibles. Por esta razón se deben tener implementados planes de actuación en caso de cualquier emergencia, dispositivos de seguridad, constante comunicación con las autoridades pertinentes y habitantes, capacitación, etc.

CAPÍTULO 2. RIESGO: CONCEPTOS



La vulnerabilidad a las personas está definida como el número de individuos que podrían resultar afectados por algún daño o lesión a causa de un accidente. La de instalaciones se mide utilizando magnitudes económicas y estimaciones de daños físicos.

Las consecuencias que se evalúan en el presente trabajo son relacionadas a lesiones o muerte de personas y daño a instalaciones. Dentro de las lesiones a las personas se consideran las quemaduras por exposición a la radiación térmica o los daños a pulmones y oídos por la onda de sobrepresión generada por una explosión.

En la Figura 5 se presenta la fotografía de un helicóptero que el día 8 de marzo de 2018 tuvo problemas al despegar dentro de las instalaciones de una de las gaseras en la zona de estudio. La caída del helicóptero no representó consecuencias mayores más que algunas lesiones a los tripulantes, pero claramente se muestra en la fotografía la cercanía del sitio en el cual se encuentra el helicóptero con algunos tanques de almacenamiento y de autotanques. Éste es un claro ejemplo de una situación peligrosa que podría haberse previsto con un Análisis de Riesgos previo.



Figura 5. Accidente de desplome de helicóptero en el predio de una de las gaseras de la zona de estudio.

Fuente: <https://www.siete24.mx/mexico/edomex/498111/cae-helicoptero-dentro-de-gasera-en-san-juanico/>

2.6. RIESGO AMBIENTAL EN LA LEGISLACIÓN

De acuerdo con la Guía para la presentación del Estudio de Riesgo Ambiental, se define al Riesgo Ambiental como:

“... un instrumento de carácter preventivo mediante la aplicación sistemática de políticas, procedimientos y prácticas de manejo a las tareas de análisis, evaluación y control de riesgos con el fin de proteger a la sociedad y al ambiente anticipando la posibilidad de liberaciones accidentales de sustancias consideradas como peligrosas por sus características CRETIB en las instalaciones y evalúa su impacto potencial, de manera tal que éste pueda prevenirse o mitigarse ...” (SEMARNAT, 2015)

Por medio de los Estudios de Riesgo Ambiental se pueden realizar evaluaciones de las Actividades Altamente Riesgosas (AAR), las cuales se definen como:

“Acción o conjunto de acciones, ya sean de origen natural o antropogénico, estén asociadas con el manejo de sustancias con propiedades inflamables, explosivas, tóxicas, reactivas, radioactivas, corrosivas o biológicas, en cantidades tales que, en caso de producirse una liberación, sea por fuga o derrame de las misma o bien una explosión, ocasionaría una afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes” (SEGOB, 2016)

En este sentido es importante mencionar que existen dos listados de AAR, el primero específico para sustancias consideradas como tóxicas (DOF, 1990) y el segundo para sustancias consideradas como inflamables o explosivas (DOF, 1992). La cantidad de reporte para la sustancia considerada en la presente tesis (gas L.P.) es de 50 000 kg en estado gaseoso (SEGOB, 1992).

El instrumento de carácter preventivo mediante la aplicación sistemática de políticas, procedimientos y prácticas de manejo a las tareas de análisis, evaluación y control por el cual se estudia el riesgo ambiental recibe el nombre de Estudio de Riesgo Ambiental (ERA) (SEMARNAT, 2015) y debe presentarse bajo las siguientes condiciones:

- 1) Como parte integral de una Manifestación de Impacto Ambiental (MIA)¹ bajo lo establecido en el Artículo 30 de la LGEEPA que a la letra menciona que:

¹ Manifestación del impacto ambiental: El documento mediante el cual se da a conocer, con base en estudios, el impacto ambiental, significativo y potencial que generaría una obra o actividad, así como la forma de evitarlo o atenuarlo en caso de que sea negativo (SEGOB, 2016)

“Cuando se trate de actividades consideradas altamente riesgosas en los términos de la presente Ley, la manifestación deberá incluir el estudio de riesgo correspondiente”.

- 2) Cuando en las empresas o proyectos se lleven a cabo AAR según lo establecido en Artículos 17 y 18 del Reglamento de la LGEEPA en materia de Evaluación de Impacto Ambiental, se indica la presentación del Estudio de Riesgo y un Programa para la Prevención de Accidentes (PPA)².

Además, según el Artículo 148 de la LGEEPA

“Cuando para garantizar la seguridad de los vecinos de una industria que lleve a cabo actividades altamente riesgosas, sea necesario establecer una zona intermedia de salvaguarda, el Gobierno Federal podrá, mediante declaratoria, establecer restricciones a los usos urbanos que pudieran ocasionar riesgos para la población. La Secretaría promoverá, ante las autoridades locales competentes, que los planes o programas de desarrollo urbano establezcan que en dichas zonas no se permitirán los usos habitacionales, comerciales u otros que pongan en riesgo a la población.”

Existen cuatro niveles de Estudios de Riesgo Ambiental como se indica a continuación (SEMARNAT, 2015):

Nivel 0 Ductos terrestres. Aplica cuando se manejan sustancias químicas consideradas como peligrosas por medio de ductos con ciertas características como lo son: Longitud igual o mayor de 1 km, diámetro igual o mayor de 10.16 cm y presión de operación igual o mayor de 10 kg/m² antes de la caseta de regulación. O en su trayectoria cruce con zonas habitacionales o áreas naturales protegidas. O transporte ácido fluorhídrico, cloruro de hidrógeno, ácido cianhídrico, cloro, amoníaco, óxido de etileno, butadieno, cloruro de etileno o propileno.

Nivel 1 Informe preliminar de riesgo. Aplica para proyectos en los que se pretenda almacenar, filtrar o mezclar sustancias consideradas como peligrosas en sitios en donde el uso de suelo sea agrícola, industrial o rural sin uso.

Nivel 2 Análisis de Riesgo. Aplica para proyectos en los que se maneje alguna sustancia considerada como peligrosa que presente hasta cuatro de las siguientes características: Si realiza alguna de estas actividades destilación, refrigeración y/o extracción con solvente o absorción. El

²Es un documento a través del cual una persona física o moral que realiza actividades consideradas como altamente riesgosas, describe las medidas y acciones de prevención contra los riesgos analizados en el Estudio de Riesgo Ambiental.

CAPÍTULO 2. RIESGO: CONCEPTOS



almacenamiento se realice en tanques presurizados. Existe alguna reacción química, intercambio de calor y/o energía, presiones diferentes a la atmosférica, temperaturas diferentes a la ambiental. Se pretende ubicar en alguna zona de reserva ecológica o uso de suelo habitacional. La zona por ubicarse sea susceptible a sismos, hundimientos o fenómenos hidrológicos y meteorológicos.

Nivel 3 Análisis detallado de riesgo. Aplica para proyectos en los que se maneje alguna sustancia química peligrosa que presente todas las siguientes características: El tipo de operación es destilación, refrigeración o extracción con solventes o absorción. Existe una reacción química, intercambio de calor y/o energía, presiones diferentes a la atmosférica o temperaturas diferentes a la ambiental. Se pretende ubicar en alguna zona de reserva ecológica o uso de suelo habitacional. La zona por ubicarse sea susceptible a sismos, hundimientos o fenómenos hidrológicos y meteorológicos. Se trata de complejos químicos o petroquímicos con dos o más plantas. En alguna de las etapas del proceso se genera alguna sustancia toxica y/o con efecto residual, acumulativo o letal para el ser humano o el ambiente. Cuando se trata de actividad interconectada con otra AAR ubicada en predio colindante.

Conforme a lo establecido en las Guías para la elaboración de Estudios de Riesgo Ambiental los valores de radiación térmica para la zona de alto riesgo son de 5 kW/m² y para la zona de amortiguamiento es de 1.4 kW/m². Los valores que se establecen para la sobrepresión para zona de alto riesgo son de 1 lb/in² y para zona de amortiguamiento es de 0.5 lb/in².

Con base en el Acuerdo para la reubicación de plantas de almacenamiento de gas L.P. ubicadas dentro de poblaciones, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 21 de noviembre de 1986 y con la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SESH-2014, Plantas de distribución de gas L.P. Diseño, construcción y condiciones seguras en su operación publicada el 22 de octubre de 2014 en el DOF, la distancia mínima entre los tanques de almacenamiento o zonas de trasiego con asentamientos humanos deberá ser de 100 m.

La Ley de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano en su Artículo 4 inciso VIII indica lo siguiente:

“Resiliencia, seguridad urbana y riesgos. Propiciar y fortalecer todas las instituciones y medidas de prevención, mitigación, atención, adaptación y Resiliencia que tengan por objetivo proteger a las personas y su patrimonio, frente a los riesgos naturales y antropogénicos; así como evitar la ocupación de zonas de alto riesgo”

Cabe hacer el señalamiento que en agosto de 2014 se creó una nueva agencia gubernamental encargada de regular y supervisar las instalaciones y actividades del sector hidrocarburos en asuntos

relacionados con la seguridad industrial y la protección al medio ambiente, conocida como Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente (ASEA).

A la ASEA le compete emitir regulación y normatividad aplicable en material de seguridad industrial y operativa, así como de protección al medio ambiente en la industria de hidrocarburos. Actualmente los ERA, PPA y MIA se realizan conforme a guías establecidas por SEMARNAT, pero la evaluación para temas relacionados con hidrocarburos es evaluada en la ASEA.

Cuando se realiza un proyecto del sector energético (incluye sector hidrocarburos) las empresas deben realizar una Evaluación de Impacto Social (Evis), en la cual se debe identificar, caracterizar, predecir y valorar las consecuencias que podrían derivarse del proyecto, así como medidas de mitigación y planes de gestión social.

En algunos otros países los Estudios de Riesgo Ambiental a grandes rasgos son realizados como se describe en los párrafos siguientes.

Metodología de evaluación de riesgos o Accidental Risk Assessment Methodology for Industries (ARAMIS) Project

El Accidental Risk Assessment Methodology for Industries (ARAMIS) Project o Metodología de evaluación de riesgos para las industrias inicio en enero de 2002 con la participación de 10 países europeos.

Se pretende que este tipo de metodologías los usuarios finales sean la industria, autoridades competentes y autoridades locales, quienes con la información obtenida sean capaces de tomar decisiones.

ARAMIS se divide en las siguientes etapas:

- Identificación de peligros mayores (MIMAH).
- Identificación de las barreras de seguridad y evaluación de su desempeño.
- Evaluación de la eficiencia de gestión de seguridad para la confiabilidad de las barreras.
- Identificación de los escenarios de accidentes referencia (MIRAS).
- Evaluación y mapeo de la gravedad del riesgo de los escenarios de referencia.
- Evaluación y mapeo de la vulnerabilidad de los alrededores de la planta.

(Debray & Salvi, 2005)

Plan de Gestión de Riesgos o Risk Management Plan (RMP)

La sección 112 © de las enmiendas de la Ley de Aire Limpio requiere a la Agencia de Protección al Ambiente (EPA) publicar regulaciones y guías para la prevención de accidentes químicos de instalaciones que utilizan sustancias químicas peligrosas.

El RMP incluye entre otras cosas:

- Identificar los posibles efectos de un accidente químico.
- Identificar las medidas que la instalación está tomando para prevenir accidentes.
- Explicar los procedimientos de respuesta a emergencias en caso de accidente.

El plan provee información para que los bomberos locales, policía y cuerpos de emergencia estén preparados para responder a emergencias químicas. De igual manera los RMP están disponibles al público para mejorar la respuesta a emergencias y la prevención de accidentes.

Las industrias que manejen sustancias químicas inflamables o tóxicas reguladas en los listados y conforme a las cantidades límite deberán presentar un RMP los cuales deberán incluir:

- Evaluación de peligros que detallen los posibles efectos de accidentes, accidentes históricos por lo menos de los últimos 5 años y evaluación del peor accidente, así como las medidas.
- Programa de prevención que incluya las medidas de seguridad y mantenimiento, monitoreo y capacitación a trabajadores.
- Programa de respuesta a emergencias que indique cuidado de la salud, capacitación de trabajadores y procedimientos de información a la población y a cuerpos de emergencias en caso de accidente.

(Environmental Protection Agency, 2018)

CAPÍTULO 3. GAS L.P.

3.1. CARACTERÍSTICAS

De acuerdo con la Hoja de Datos de Seguridad (HDS) del gas L.P. emitida por PEMEX está compuesto por 60% de propano y 40% de butano, así como Etil-mercaptano 0.0017-0.0028% como odorizante (Pemex, 2018).

Con base en el apartado 2 de la HDS Identificación del peligro o peligros, con base en el Sistema Globalmente Armonizado (SGA) los peligros físicos se consideran como H220 Gas extremadamente inflamable y H280 Contiene gas a presión; puede explotar si se calienta. Los peligros para la salud son H341 Susceptible de provocar defectos genéticos por inhalación y H351 Susceptible de provocar cáncer por inhalación (Pemex, 2018)

Se sugiere que el gas sea colocado en lugares en los que se cuente con óptimas condiciones de ventilación, ya que la formación de nubes de vapores podría desplazar el oxígeno disponible para respirar. Los vapores del gas licuado son más pesados que el aire (su densidad relativa es 2.01; aire=1) (Pemex, 2018).

Con respecto a los parámetros de control se tiene lo siguiente (Pemex, 2007) (Pemex, 2018):
OSHA PEL: TWA 1 000 ppm (Límite de exposición permisible durante jornadas de ocho horas para trabajadores expuestos día tras día sin sufrir efectos adversos).

NIOSH REL: TWA 350 mg/m³; CL 1 800 mg/m³/15 min (Exposición a esta concentración promedio durante una jornada de ocho horas).

ACGIH TLV: TWA 1 000 ppm (Concentración promedio segura, debajo de la cual se cree que casi todos los trabajadores se pueden exponer día tras día sin efectos adversos).

CAPÍTULO 3. GAS L.P.



PPT: 1000 ppm (Promedio ponderado de tiempo, NOM-010-STPS-2014).

Dentro de la información toxicológica, se indica que las vías de ingreso son inhalación y cutánea. Por toxicidad aguda se tiene que en exposición breve pueden presentar Cefalea, vértigo, y nauseas; exposición moderada pérdida de la coordinación motora y narcosis y en exposición severa asfixia y pérdida del conocimiento que puede llevar a la muerte por anoxia anoxica (Pemex, 2018).

Respecto a corrosión e irritación cutáneas en contacto con el líquido o gas comprimido provoca congelamiento de la parte afectada. En lesiones oculares graves e irritación ocular el contacto con el líquido o gas comprimido provoca congelamiento de la parte afectada. En mutagenicidad en células germinales en animales de experimentación se ha presentado mutagénesis con el 1,3-butadieno. La Carcinogenicidad en estudios en trabajadores expuestos por vía inhalatoria al 1,3-butadieno han reportado un riesgo mayor de desarrollar cáncer de estómago, sangre y sistema linfático (Pemex, 2018).

De acuerdo con el Prontuario del Sector Energético en diciembre del 2016 la producción de gas L.P. promedio fue de 152.5 Mbd (miles de barriles diarios), el cual aumento 1.4% en producción con respecto al 2015 (Secretaría de Energía, 2016).

Para que el gas L.P. pueda ser utilizado en las distintas áreas pasa por distintas actividades como lo son: exploración, extracción (pozos terrestres o plataformas marinas), producción (petróleo o gas), transformación industrial (refinerías o procesadoras de gas), transporte (ductos, autotanques, ferrocarril), almacenamiento, distribución y expendio al público (centros de distribución y carburación de gas L.P.) (Secretaría de Energía, 2015).

La Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) es la encargada de regular las actividades de exploración y extracción de hidrocarburos, la Secretaría de Energía (SENER) es la encargada de regular las actividades para el tratamiento y refinación de petróleo, el procesamiento de gas natural, y la exportación e importación de hidrocarburos, y petrolíferos. Los permisos de transporte, almacenamiento, distribución, compresión, licuefacción, descompresión, regasificación, comercialización y expendio al público de hidrocarburos, petrolíferos o petroquímicos, son expedidos por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) (Secretaría de Energía, 2015).

3.2. TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE GAS L.P.

El transporte de esta sustancia se hace por medio de autotanques (54%), ductos de Pemex-Gas y Petroquímica Básica y privados (44%) y embarcaciones (2%) (Secretaría de Energía, 2016).

El almacenamiento consiste en recibir la sustancia en los puntos de recepción de su instalación, conservarlos, resguardarlos y devolverlos al depositante en los puntos de entrega determinados en su instalación o sistema, conforme a lo dispuesto por la CRE.

La distribución consiste en adquirir, recibir y en su caso suministrar la sustancia para su expendio al público o consumo final. Dicha distribución se realiza por medio de ductos, autotanques, vehículos de reparto, recipientes portátiles, recipientes sujetos a presión, etc.

3.3. DEMANDA DE GAS L.P.

Del volumen total de gas L.P. consumido, el sector residencial consumió el 59.5%, sector servicios 14.8%, sector industrial 10.3%, Autotransporte 12.5%, sector petrolero 1.5% y sector agropecuario 1.4% (Secretaría de Energía, 2016).

Cabe destacar que en los sectores residencial y de servicios el gas L.P. es el combustible mayormente utilizado, seguido por uso de leña, gas natural y uso de paneles solares.

En el sector autotransporte los combustibles más utilizados son la gasolina, diésel y gas natural, y por último el gas L.P.

Con respecto al sector industrial el combustible más utilizado es el gas natural seguido por carbón, coque de petróleo, diésel, posteriormente el gas L.P. y combustóleo.

El país está dividido en 5 zonas Noroeste, Noreste, Centro-Occidente, Centro y Sur-Sureste. En la Tabla 4 se presentan los estados con mayor demanda de gas L.P. por región.

Tabla 4. Estados con mayor demanda de gas L.P.

Región	Estado	Consumo en 2015 (Mbd)
Noroeste	Baja California	8.6
Noreste	Chihuahua	10.1
Centro-Occidente	Jalisco	21.7
Centro	Estado de México	48.9
Sur-sureste	Veracruz	13.5

Fuente: SENER, con base en información de IMP. Prospectiva de gas L.P.

3.4. INFRAESTRUCTURA PARA OBTENCIÓN DE GAS L.P. EN MÉXICO

Actualmente a lo largo de toda la República Mexicana se cuenta con 8 complejos procesadores de gas (CPG) como se muestra a continuación:

- ✓ Burgos
- ✓ Cactus
- ✓ Cangrejera
- ✓ Matapionche
- ✓ Morelos
- ✓ Nuevo PEMEX
- ✓ Poza Rica
- ✓ Reynosa

Así mismo, se cuenta con cinco permisos de transporte de gas L.P. mediante ductos otorgados por la CRE.

- ✓ TDF, S. de R.L. de C.V. (trayecto CPG Burgos a Monterrey, Nuevo León)
- ✓ Ductos del Altiplano, S.A. de C.V. (trayecto Tuxpan, Veracruz a Atotonilco de Tula, Hidalgo)
- ✓ Penn Octane de Mexico, S. de R.L. de C.V. (trayecto cruce fronterizo de Sabina, Tamaulipas a terminal Matamoros)
- ✓ Pemex logística SNGLP (CPG Cactus a Guadalajara)
- ✓ Pemex Logística "Hobbs-Méndez" (frontera de Texas, EUA a Ciudad Juárez, Chihuahua)

Con respecto a los permisos de distribución de gas L.P. mediante ductos se tienen otorgados los siguientes permisos por la CRE.

- ✓ Compañía de Gas Tijuana, S.A. de C.V. en Baja California
- ✓ Asociación de Colonos de la Herradura, A. C. en el Estado de México

CAPÍTULO 3. GAS L.P.



- ✓ Gas del Caribe, S.A. de C.V. en Quintana Roo
- ✓ Hermogas S.A. de C.V. en Sonora

Para septiembre del 2016 la CRE había otorgado los siguientes permisos a nivel nacional (Tabla 5):

Tabla 5. Permisos otorgados por la Comisión Reguladora de Energía

Permisos otorgados en materia de gas L.P.	No. De permisos
Permisos de distribución de gas L.P. mediante planta de distribución	1 182
Permisos de expendio de gas L.P. mediante estación de servicio para autoconsumo	342
Permisos vigentes expendio al público de gas L.P. mediante estación de servicio con fin específico	3 155
Permisos vigentes de expendio al público de gas L.P. mediante bodega de expendio	7

Fuente: (Comisión Reguladora de Energía, 2016)

De acuerdo con la CRE para el Estado de México se cuentan con 96 permisos vigentes de plantas de distribución de gas L.P., de los cuales 9 están en el municipio de Tlalnepantla de Baz y específicamente 6 en el área de estudio, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Permisos vigentes en la zona de estudio

Nombre o denominación	Capacidad (litros)
Unigas, S.A. de C.V.	3 186 615
Gasomatico, S.A. de C.V.	1 080 930
Gas y Servicio, S.A. de C.V.	1 000 000
G.G. Gas, S.A. de C.V.	784 505
G.G. Gas, S.A. de C.V.	500 000
Gas Metropolitano, S.A. de C.V.	2 500 000

Fuente: (Comisión Reguladora de Energía, 2016)

Así pues, las gaseras que se muestran en la Figura 4 son precisamente los permisos otorgados por la CRE para plantas de distribución de gas L.P., cabe destacar que la capacidad en litros de almacenamiento no contempla el gas que se encuentra en los vehículos de distribución o en los cilindros.

3.5. ACCIDENTES ASOCIADOS A GAS L.P.

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) es la institución en México encargada de prevenir y reducir los riesgos de desastres, por lo tanto, con base en una publicación realizada con este centro, las sustancias químicas en México que representan mayor peligro, debido a su volumen de almacenamiento, peligrosidad y presencia en distintas entidades federativas son (Tabla 7):

Tabla 7. Sustancias químicas de mayor peligro en México.

Sustancias químicas	
Gas L.P.	Acetona
Amoniaco	Alcohol metílico
Ácido Sulfúrico	Alcohol propílico e isopropílico
Cloro	Propano
Hexano	Acetato de etilo
Gasolina	Óxido de etileno
Nitrógeno	Ácido fluorhídrico

Fuente: Identificación de peligros por almacenamiento de sustancias químicas en industrias de alto riesgo en México (Arcos & Treviño, 2003)

Así como, los estados con mayor número de sustancias almacenadas en grandes cantidades son (Tabla 8):

Tabla 8. Estados con mayor número de sustancias almacenadas

Estados	
Veracruz	Guanajuato
Estado de México	Nuevo León
Puebla	Oaxaca
Tamaulipas	Chihuahua
Jalisco	Distrito Federal
Hidalgo	Querétaro

Fuente: Identificación de peligros por almacenamiento de sustancias químicas en industrias de alto riesgo en México (Arcos & Treviño, 2003)

De acuerdo con las dos tablas anteriormente presentadas el gas L.P. es una de las sustancias químicas de mayor peligro y el Estado de México es uno de los estados con mayor número de sustancias almacenadas.

Los riesgos mayores que involucran gas L.P. en México afectan tanto zonas industriales como habitacionales. El riesgo mayor puede generar fugas, incendios, explosiones o la combinación de ellos, los cuales son causados por factores humanos o por instrumentación (CENAPRED, 2016).

Tabla 9. Porcentaje de riesgos mayores debido al uso de gas L.P.

Evento	%
Fuga	29.8
Incendio	14.7
Explosión	17.9
Sin Evento	10.5
Sin dato	27.0

Fuente: Unidad de transparencia del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)

En la Tabla 9 se considera accidente sin evento cuando se presentó una volcadura, choque, etc., sin incendio, explosión o liberación de gas L.P. y accidente sin dato cuando no se cuenta con la información relacionada al evento que se presentó (CENAPRED, 2016).

Tabla 10. Porcentaje de accidentes por sector que involucran gas L.P.

Sector	%
Industria	10.7
Transporte	48.1
Urbano	41.2

Fuente: Unidad de transparencia del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)

En la Tabla 10 se considera accidente de transporte a los ocurridos en autotanques o semirremolques, choques o volcaduras. Los accidentes urbanos se consideran los ocurridos en casa habitación, comercios, bodegas, hospitales, guarderías, escuelas, oficinas, hoteles, bares, unidades de reparto de cilindros de gas L.P. y autotanques que abastecen a tanques estacionarios (CENAPRED, 2016).

Estos datos son proporcionados por CENAPRED, con información del 2012 al 2015, derivados de reportes de casos relevantes, dichos datos no pueden considerarse como el total de accidentes a nivel nacional, puesto que no se tienen bases de datos.

Como se ha mencionado, el gas L.P. puede ser una sustancia altamente riesgosa, en la Tabla 11 se presenta una serie de accidentes documentados a nivel internacional en los que está involucrada dicha sustancia.

Tabla 11. Principales accidentes que involucran gas L.P.

Fecha	Lugar	Situación	Consecuencias		
			Muertes	Lesionados	Evacuados
1966	Francia	BLEVE	18	90	
1972	Brasil	Falla en el proceso	39	51	-
1974	EUA	Transporte ferroviario	17	34	-
1977	Qatar	Incendio	7	13	-
1978	Canadá	Tubería	-	-	20 000
1979	Canadá	Explosión (transporte ferroviario)	-	-	226 000
1980	Países Bajos	Incendio	-	-	-
1982	Inglaterra	Incendio	-	-	-
1983	Egipto	Explosión (transporte)	317	44	-
1984	EUA	Incendio	-	-	-
1984	México	Explosión (esferas de almacenamiento)	>500	2 500	>200 000
1987	Australia	Incendio	-	-	-
1988	Inglaterra	Fuga mientras llenaban un recipiente Incendio	-	-	-
1989	Mongolia	Choque de tren Incendio	5	-	-
1990	Australia	Incendio	-	-	-
1990	Bangkok	Accidente en el transporte	>51	>54	-
1992	Corea	Explosión en un almacén de gas	-	16	20 000
1993	Corea del Sur	Incendio	27	50	-

Fecha	Lugar	Situación	Consecuencias		
			Muertes	Lesionados	Evacuados
1995	Corea	Construcción en transporte subterráneo	101	140	>10 000
1998	China	Fuga e incendio	11	-	-
1999	Turquía	Error humano	-	-	-
1999	Grecia	Accidente en transporte, fuga e incendio	4	-	-

Fuente: Informes Técnicos. Modelación de radios de afectación por explosiones en instalaciones de gas. (Alcántara & González, 2001)

Evaluation of the effects and consequences of major accidents in industrial plants. (Casal, 2018)

CAPÍTULO 4. ANTECEDENTES

4.1. ÁREA DE ESTUDIO

4.1.1. Descripción del Fraccionamiento Industrial La Presa

De acuerdo con el Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Tlalnepantla de Baz el municipio comenzó su desarrollo industrial y expansión en la década de 1950, debido a la política de promoción de industrias del Estado de México, así como, por contar con la infraestructura ferroviaria y por su cercanía a la Ciudad de México (Municipio de Tlalnepantla de Baz, 2008).

Dentro del Fraccionamiento Industrial La Presa se encuentran empresas con giro industria química, metal mecánicas, zonas de almacenamiento de diésel y gasolina, transporte, fabricación de productos, almacenamiento y distribución de destilados, fabricación de conglomerados y zonas de almacenamiento y distribución de gas L.P., el objeto de estudio del presente trabajo (Figura 6).

Algunas de las sustancias químicas utilizadas o almacenadas por las empresas en el Fraccionamiento Industrial la Presa son: cloro, cloruro de vinilo, amoniaco anhidro, gas natural, hidrogeno, metanol, acetona, diésel, gasolina, acetato de etilo y gas L.P.

Dentro de la zona industrial se encuentran actualmente seis gaseras, las cuales cuentan con tanques de almacenamiento de gas L.P. con capacidad de entre 200 000 y 250 000 L de gas L.P. al 100% de agua, además de los autotanques y cilindros (Figura 7).

Las colonias colindantes al Fraccionamiento Industrial la Presa son: Lázaro Cárdenas 1° sección, 2° sección y 3° sección, Lomas de Lindavista (El Copal), San José Ixhuatepec, Barrio San Juan y Guadalupe Ticomán, Reserva Ecológica 7 y 9 y Pueblo San Juan Ixhuatepec (INEGI, 2015).

4.1.2. Descripción Colonia San Juan Ixhuatepec

De acuerdo con información proporcionada por personal del municipio de Tlalnepantla de Baz, el origen de esta colonia data del Siglo XVI y fue hasta el año 1804 que se le dio la categoría de Pueblo, cuyo primer alcalde o Gobernador fue Don Juan de los Ángeles Rivero. Con base en información del Archivo Histórico de Localidades Geoestadísticas de INEGI en el censo de 1970 se comienza a considerar a San Juan Ixhuatepec como colonia (INEGI, 2015).

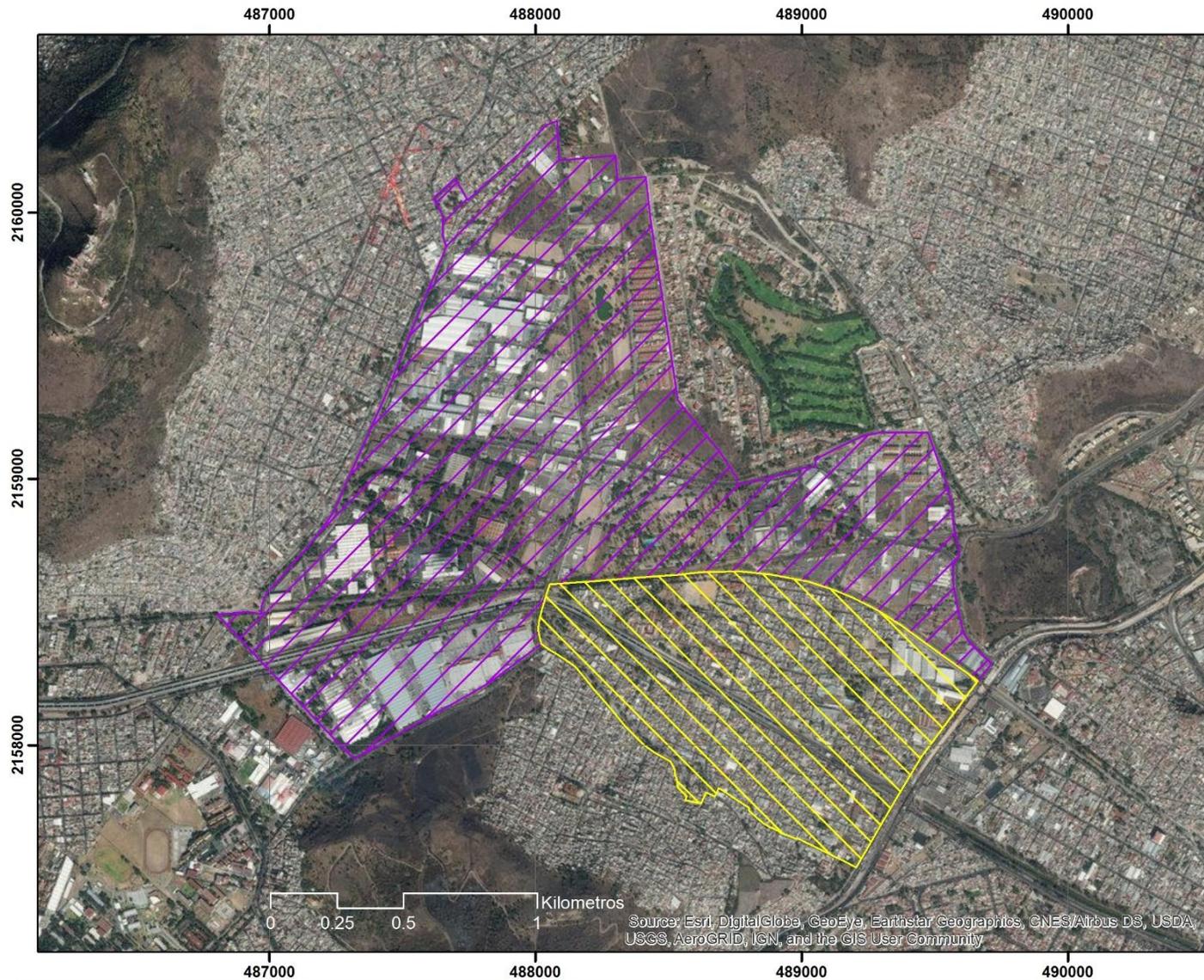
En el patio de la Parroquia de San Juan Bautista ubicada en la colonia indica que la construcción de dicha parroquia se terminó de construir en el año 1616 y fue remodelada en 1925. De igual manera indica que cuando ocurrió la explosión en 1984 la parroquia no sufrió daños significativos.

Con base en información del Atlas Municipal de Riesgos de Tlalnepantla 2016-2018 en la colonia existen dos taludes, además de zonas susceptibles de inundación de medias a altas (Tlalnepantla, 2016).

La colonia San Juan Ixhuatepec está conformada por aproximadamente 4 076 viviendas, 5 escuelas preescolares, 6 primarias y 3 secundarias, además de pequeños comercios como son tortillerías, tiendas de abarrotes, papelerías y dos días a la semana se coloca un tianguis en paralelo a río de los remedios (INEGI, 2015). Además de estos pequeños comercios en el área están establecidas micro industrias relacionadas a la carpintería, fábrica de ligas, fábrica de espumas y plásticos (Tlalnepantla, 2016) (Figura 6).

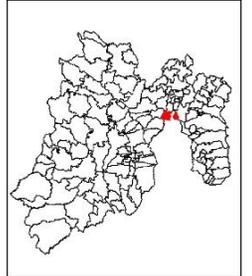
En el Anexo 3 se presentan una serie de fotografía tomadas del sitio en la que se muestran los alrededores, algunas escuelas, algunos comercios, etc.

CAPÍTULO 4. ANTECEDENTES



Simbología

-  Colonia San Juan Ixhuatepec
-  Fraccionamiento Industrial La Presa



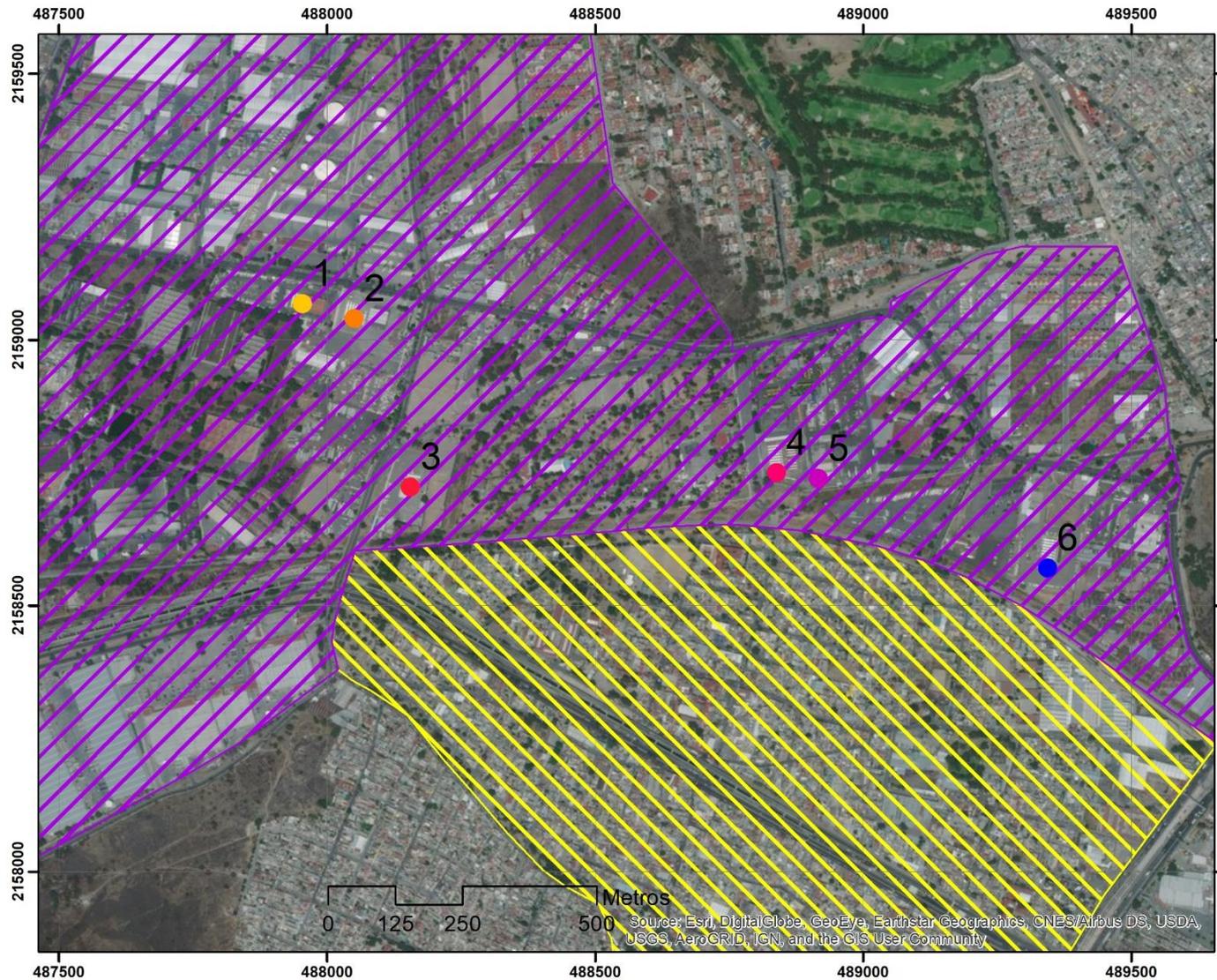
Datum: WGS 84
 Proyección: UTM 14N
 Unidad de Medida: metros
 Fuente:
 Marco Geoestadístico
 2016 INEGI
 Elaboró: Zuilly Annais
 Ballesteros Gómez
 Junio 2017

Área de Estudio



Figura 6. Área de estudio
Riesgos en Asentamientos habitacionales por la cercanía con zonas de almacenamiento de Gas L.P.

CAPÍTULO 4. ANTECEDENTES



Simbología

- Fraccionamiento Industrial La Presa
- Colonia San Juan Ixhuatepec

Volumen Almacenamiento (m3)

- 1 1000
- 2 784
- 3 500
- 4 3186
- 5 1080
- 6 2500

1:10,000

Datum: WGS 84
 Proyección: UTM 14N
 Unidad de Medida: metros
 Fuente: Marco Geoestadístico 2016 INEGI
 Elaboró: Zuilly Annais Ballesteros Gómez
 Junio 2017

Gaseras en Área de Estudio



Riesgos en Asentamientos habitacionales por la cercanía con zonas de almacenamiento de Gas L.P.

Figura 7. Gaseras en área de estudio

CAPÍTULO 4. ANTECEDENTES



El INEGI divide a los municipios en Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) con la finalidad de tener un desglose de datos de los censos realizados. Así pues, una AGEB se define como la extensión territorial que corresponde a la subdivisión de las áreas geoestadísticas municipales. Dependiendo de sus características, se clasifican en dos tipos: AGEB urbana o AGEB rural. Para el área de estudio se utilizan las AGEB urbanas que se definen como un área geográfica ocupada por un conjunto de manzanas perfectamente delimitadas por calles, avenidas, andadores o cualquier otro rasgo de fácil identificación en el terreno y cuyo uso del suelo es principalmente habitacional, industrial, de servicios, comercial, etcétera, y sólo son asignadas al interior de las localidades urbanas (INEGI, 2010).

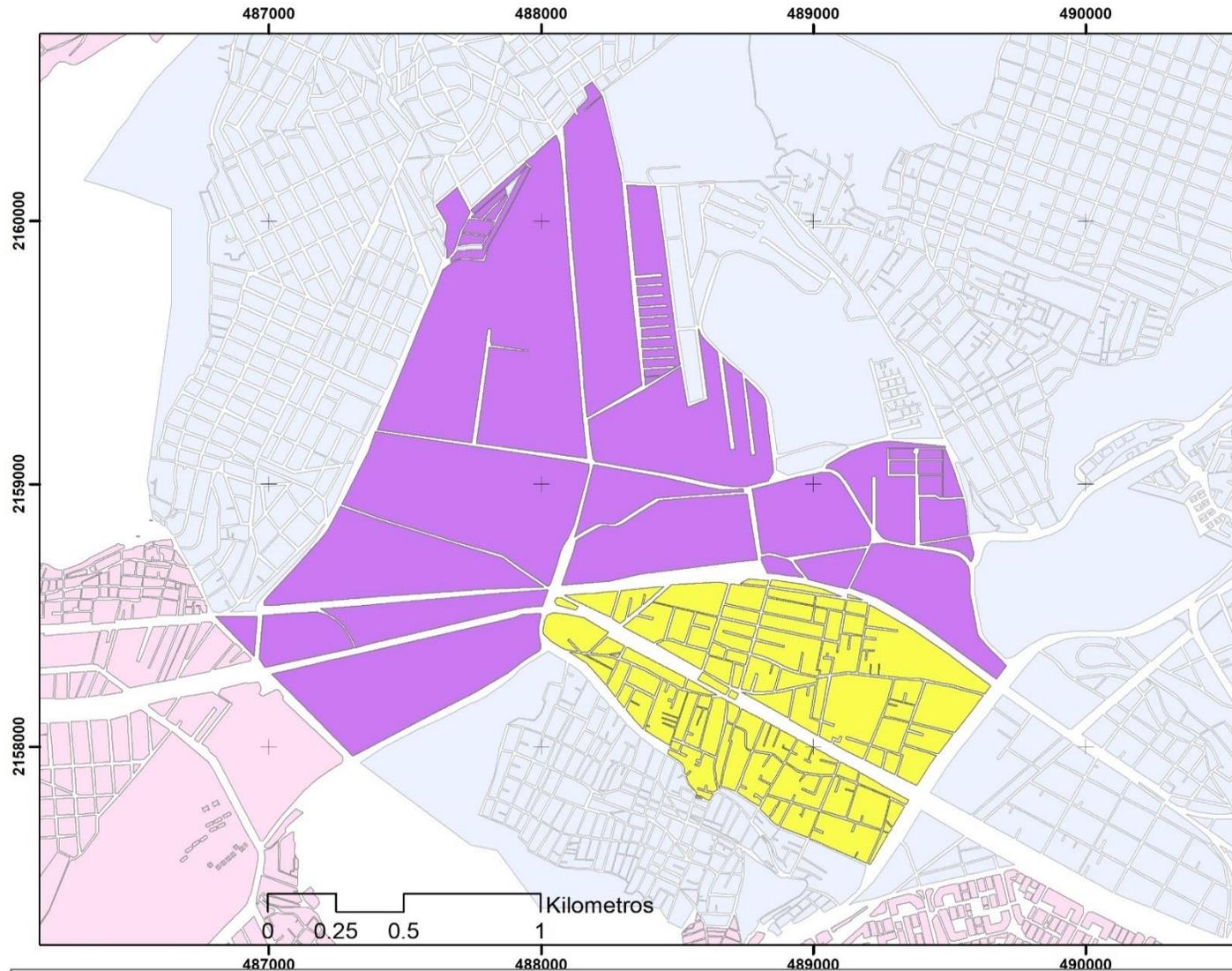
De acuerdo con la información del Censo de Población y Viviendo 2010 de INEGI (INEGI, 2010) las AGEB para la Colonia San Juan Ixhuatepec y el Fraccionamiento Industrial La Presa son las que indica la Tabla 12.

Tabla 12. AGEB en área de estudio

	AGEB	Manzanas	Población
Colonia San Juan Ixhuatepec			
Total	6	83	15 170
	1419		
	1902		
	1917		
	1921		
	2154		
	2173		
Fraccionamiento Industrial La Presa			
Total	4	24	544
	1387		
	157A		
	1688		
	1902		

Fuente: Censo de Población y Viviendo 2010 de INEGI

De acuerdo con la Tabla 12, la colonia San Juan Ixhuatepec está compuesta por un total de 6 AGEB, 83 manzanas y aproximadamente 15 170 habitantes; el Fraccionamiento Industrial La Presa por 4 AGEB, 24 manzanas y aproximadamente 544 personas. Todo esto se puede observar en la Figura 8.



Simbología

- Colonia San Juan Ixhuatepec
- Fraccionamiento Industrial La Presa
- AGEB CDMX
- AGEB Edo. Méx.

N
1:20,000

Datum: WGS 84
 Proyección: UTM 14N
 Unidad de Medida: metros
 Fuente:
 Marco Geoestadístico 2017 INEGI
 Elaboró: Zuilly Annais Ballesteros Gómez
 Marzo 2018

AGEB en Área de Estudio



Riesgos en Asentamientos habitacionales por la cercanía con zonas de almacenamiento de Gas L.P.

Figura 8. AGEB en área de estudio

4.1.3. Accidente en San Juan Ixhuatepec 19 de noviembre 1984

En la mañana del 19 de noviembre de 1984 ocurrió en San Juan Ixhuatepec una de las mayores tragedias en la historia industrial de México.

Dicho accidente ocurrió en instalaciones de almacenamiento de gas L.P. de PEMEX, en la cual se encontraban seis tanques de almacenamiento esférico con una capacidad de 1 600 m³ (4) y 2 400 m³ (2), así como 48 tanques cilíndricos horizontales de distintos volúmenes. En el momento del desastre había almacenado aproximadamente 11 000 m³ de mezcla de gas propano y butano (Arturson, 1987).

El desastre ocurrió mientras en la planta se realizaban trabajos de mantenimiento, probablemente por ruptura o sobrepresión en la tubería. Se formó una nube de gas que fue creciendo hasta encontrar una fuente de ignición ocurriendo así una primera explosión. Esta primera explosión (VCE) debió provocar la rotura de una serie de tuberías, con la inmediata aparición de chorros de fuego. La acción térmica -muy potente- de estos chorros sobre diversos tanques provocó las siguientes explosiones, todas ellas probablemente BLEVE. Las ondas de expansión de las explosiones no solo destruyeron casas a los alrededores, sino también algunos tanques cilíndricos de gaseras cercanas, lo que provocó que aumentara la cantidad de gas en el incendio. Restos de cilindros de tanques de almacenamiento fueron localizados a distancias de hasta 1 200 m a la redonda del sitio (Arturson, 1987).

El evento mayor abarcó un área de aproximadamente 100,000 m² en la cual 270 casas fueron afectadas. Más de 500 personas murieron, 300 en el sitio del desastre y las otras en el hospital debido a las heridas. El número de personas desaparecidas fue de aproximadamente 50. Respecto al personal de la planta, 5 murieron y 2 más sufrieron quemaduras (Arturson, 1987).

Alrededor de 7 000 personas necesitaron ayuda médica, 2 000 de ellos presentaban heridas severas y tuvieron que ser hospitalizados. El número de hospitales que estuvo recibiendo heridos fue de 33, así como 363 ambulancias y 5 helicópteros (Arturson, 1987).

Alrededor de 60 000 personas fueron evacuadas, de las cuales 23 000 necesitaron ayuda por heridas menores, alojamiento y comida. Se establecieron 11 albergues provisionales. El total de personal de ayuda fue de 7 000 durante las primeras 24 horas del accidente, de los cuales 250 eran bomberos, 1 000 médicos, 1 800 enfermeras, 1 300 paramédicos de la Cruz Roja y alrededor de 2 000 militares y voluntarios (Arturson, 1987).

CAPÍTULO 4. ANTECEDENTES

De acuerdo con una nota del periódico El Universal escrita por Juan Manuel Barrera, indica que el Gobierno Federal destinó \$1 921.8 millones de pesos para indemnizar a los afectados, de los cuales 955.8 millones fueron por muerte, 567.9 por lesiones y 398.1 por daño en propiedad ajena (Barrera, 2017).



Figura 9. Accidente en San Juan Ixhuatepec 19 de noviembre 1984.

Dos depósitos con llamas procedentes de las válvulas de seguridad y con las patas de soporte rotas; sin embargo, no llegaron a explotar.

Fuente: <https://joseantonioaparicioflorido.wordpress.com/tag/san-juan-ixhuatepec/>

Consultado el 26 de noviembre de 2016

Un año posterior al evento se realizó un estudio con 100 personas que viven a un kilómetro a la redonda del accidente, de los resultados obtenidos destacan los siguientes aspectos:

- 10 personas tuvieron quemaduras, 26 resultaron heridos y 64 no le paso nada.
- 43 se les quemó su casa, 36 se cuarteo su casa, 19 se rompieron los vidrios y 2 se quemó el techo de lámina.
- Después del accidente 93 personas se sentían temerosos, 87 angustiados, 75 enojados, 59 tienen problemas de salud y 22 no notaron cambios.
- 84 personas atribuyen el accidente a falta de mantenimiento de la planta, 25 porque así lo quiso Dios y 24 por provocación intencional.
- De las fuentes de riesgo 100 atribuyen a las plantas de gas, 97 a la industria química, 47 a las fábricas de varilla y 43 a fábricas de vidrio.
- Dentro de las posibles acciones para evitar sufrir otro desastre 83 indican cambiar de localidad las industrias, 67 pedir protección al gobierno y 21 cambiarse de casa.
- Posibles acciones en caso de ocurrir otro accidente durante el evento: 46 indican protegerse a sí mismo y 54 no hacer nada. Después del evento 9 indican cambiarse de casa y 91 permanecer en el mismo sitio.

(Urbina Soria, 1991)

CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA

5.1. DETERMINACIÓN DE RADIOS DE AFECTACIÓN

En el presente trabajo únicamente se realizó el Análisis de consecuencias por efectos térmicos y mecánicos, todo esto debido a que la finalidad no es obtener un Análisis de Riesgo, sino una estimación de distancias de posibles consecuencias.

Los radios de afectación serán determinados mediante el Análisis de consecuencias, el cual consiste en aplicar metodologías establecidas para obtener estimaciones de los posibles daños causados por distintos eventos, en muchos casos es posible el uso de un simulador.

EFECTOS TÉRMICO

El simulador empleado para determinar los efectos térmicos fue SCRI-Fuego, Modelos de simulación para análisis de consecuencias por fuego y explosiones. Versión 1.4 Dinámica Heurística, S.A. de C.V. diciembre 2012.

El simulador está basado en metodologías de la Agencia de Protección Ambiental de la EUA (EPA), el Instituto Americano de Ingenieros Químicos (AIChE) y de la Agencia de Administración Federal de Emergencias de la EUA (FEMA). Estos modelos son CCPS/AIChE 1999, "Guidelines for Consequence Analysis of Chemical Releases", FEMA "Handbook of Chemical Hazard Analysis Procedures" EPA 550-B-99-009 abril 1999. "Risk Management Program Guidance for Offsite Consequence Analysis" y CCPS/AIChE 1989 "Guidelines for Quantitative Risk Analysis".

El escenario simulado fue BLEVE- Bola de Fuego considerando la cantidad mayor almacenada en un tanque de cada gasera (tanque al 85% de su capacidad). Se considera la simulación de este escenario debido a que en 1984 fue el evento que se generó.

Las ecuaciones empíricas que utiliza el simulador son:

Para el cálculo del diámetro máximo de una bola de fuego (m) se utiliza la siguiente expresión:

$$D_{MAX} = 5.8 M^{1/3}$$

Para el cálculo de la duración de la combustión de la bola de fuego (s) se utiliza la siguiente expresión:

$$t_{BLEVE} = 0.45 M^{1/3} \text{ para } M < 30\,000 \text{ kg}$$

$$t_{BLEVE} = 2.6 M^{1/6} \text{ para } M \geq 30\,000 \text{ kg}$$

Para el cálculo de la altura del centro de la bola de fuego (m) se utiliza la siguiente expresión:

$$H_{BLEVE} = 0.75 D_{MAX}$$

Para el cálculo del nivel inicial al suelo del diámetro de la semiesfera (m) se utiliza la siguiente expresión:

$$D_{INICIAL} = 1/3 D_{MAX}$$

Donde:

M= masa inicial del líquido inflamable (kg)

Radiación

$$E_r = \frac{2.2 \tau_a R H_c M^{2/3}}{4\pi X_c^2}$$

Donde:

E_r = flujo radiante recibido por el receptor (W/m^2)

τ_a = transmisividad atmosférica (sin unidades)

R = fracción radiante del calor de combustión (sin unidades)

H_c = calor neto de combustión por unidad de masa (J/kg)

M = masa inicial del combustible en la bola de fuego (kg)

X_c = distancia del centro de la bola de fuego al receptor (m)

Los siguientes valores son sugeridos para R:

0.3 Para bolas de fuego de recipientes reventándose por debajo de la presión establecida de alivio.

0.4 Para bolas de fuego de recipientes reventándose por arriba de la presión establecida de alivio.

Para el cálculo de la Transmisividad atmosférica se utiliza la siguiente expresión:

$$\tau_a = 2.02 (P_w X_s)^{-0.09}$$

Donde:

τ_a = transmisividad atmosférica (entre 0 y 1)

P_w = presión parcial del agua (Pa, N/m²)

X_s = longitud de la ruta o distancia de la superficie de la flama al receptor (m)

Para el cálculo de la presión parcial del agua como función de la humedad relativa y la temperatura del aire se utiliza la siguiente expresión:

$$P_w = 1013.25 (RH) e^{\left(14.4114 - \frac{5328}{T_a}\right)}$$

Donde:

P_w = presión parcial del agua (Pa, N/m²)

RH= humedad relativa (%)

T_a = temperatura ambiente (°K)

Los criterios utilizados para la estimación de las consecuencias de la radiación térmica a generarse se muestran en la Tabla 13. Cabe señalar que SEMARNAT en las Guías para la Elaboración del Riesgo Ambiental considera 5 kW/m² como zona de alto riesgo y 1.4 kW/m² como zona de amortiguamiento.

Tabla 13. Criterios considerando radiación térmica

kW/m ²	Daños a equipo/materiales	Daños a personas
37.5	Suficiente para causar daños a equipos de proceso; colapso de estructuras.	100% de mortalidad.
12.5	Energía mínima para encender madera después de una larga exposición, con llama. Ignición de tubos y recubrimientos de plástico en cables eléctricos. Daños severos a equipos de instrumentación.	Máximo soportable protegido con trajes especiales, por tiempo limitado (ejemplo bomberos). Sin trajes especiales, 1% de mortalidad en 1 minuto, quemaduras de 1er grado en 10 segundos.

kW/m ²	Daños a equipo/materiales	Daños a personas
4	-	Suficiente para causar dolor si la exposición es mayor a 20 segundos. Quemadura de 1er grado.
1.4	-	Máximo soportable para individuos sin ropa de protección especial y tiempo prolongado.

Fuentes: Radiación térmica: su efecto en incendios de líquidos y gases. Circular 06.06. Leza, Escriña & Asociados S.A. Consultores en Ingeniería de Riesgos y Valuaciones. Buenos Aires, Argentina, 2015.

Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants, Casal, 2018

EFFECTOS MECÁNICOS

Para el cálculo de la sobrepresión máxima (pico) a determinadas distancias, se tienen tres métodos distintos.

A) Estimación de ΔP usando la energía de sobrecalentamiento del líquido (Casal-Salla, 2007)

Este método se basa en la siguiente expresión:

$$SE = h_l - h_{l0}$$

Donde:

SE= Energía sobrecalentamiento (kJ/ kg)

h_l= Entalpía a T (kJ/kg)

h_{l0}= Entalpía a T₀ (kJ/kg)

Se calcula la masa equivalente de TNT dependiendo del proceso termodinámico asumido:

- 1) Para proceso isentrópico (enfoque muy teórico) hay que considerar que entre el 7 y 14% de la energía se convierte en sobrepresión:

$$m_{TNT} = 0.214 \cdot SE \cdot 0.14 \cdot 10^{-3}$$

- 2) Para proceso irreversible, mucho más acorde con la realidad, hay que considerar que entre el 3.6 y 5% de la energía se convierte en sobrepresión:

$$m_{TNT} = 0.214 \cdot SE \cdot 0.05 \cdot 10^{-3}$$

Se considera que la cantidad de TNT requerida para liberar 1MJ es de 0.214 kg.

Para el cálculo de la distancia escalada se utiliza la siguiente expresión:

$$d_n = \frac{d}{M^{1/3}}$$

Donde:

d_n = distancia escalada (m/kg^3)

d = distancia real (m)

M = masa (kg)

Para obtener el valor de pico de sobrepresión se utiliza la Figura 4.4 del libro Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants, Casal, 2018. En la misma se gráfica la sobrepresión (bar) en función de la distancia escalada (m/kg^3).

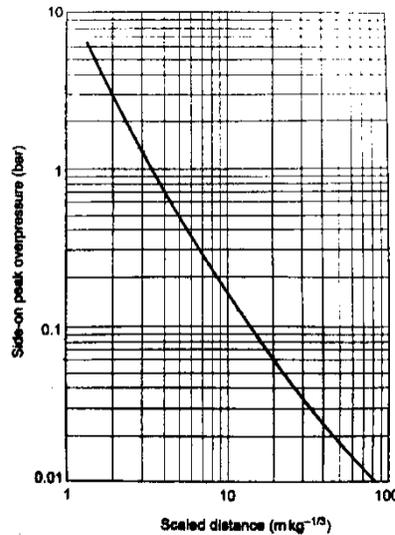


Figura 4.4

Figura 10. Gráfica de sobrepresión en función de distancia escalada tomada de Casal, 2018 (Fig. 4.4)

Se puede utilizar también la siguiente expresión:

$$\Delta P = \frac{1}{d_n} + \frac{4}{d_n^2} + \frac{12}{d_n^3}$$

B) Estimación de ΔP por curvas características (González Ferradas et al, 2006)

Con el valor de la energía y una distancia de referencia, se consulta la Figura 5.15 del libro Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants, Casal, 2018. En la cual se gráfica una curva característica para recipientes esféricos o cilíndricos. Las variables graficadas son sobrepresión (Pa), distancia (m), impulso específico (Pa·s) y energía de la explosión (J).

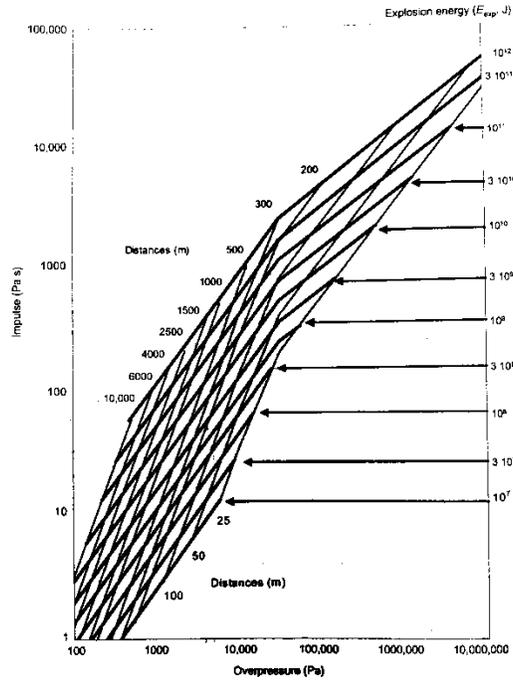


Figure 5.15

Figura 11. Gráfica Curva característica para recipientes cilíndricos tomada de Casal, 2018 (Fig. 5.15)

C) Determinación de la sobrepresión usando una aproximación polinomial (Hemmatian, et al. 2017)

Esta metodología asume el comportamiento de un gas ideal en una expansión adiabática irreversible, basada en una función matemática (polinomio) en la que se contempla la temperatura y el grado de llenado del recipiente en el momento de la explosión.

Para propano se utiliza la siguiente expresión polinomial:

$$e = 43.97 - 213.9 \cdot FD - 0.152 \cdot T + 1.349 \cdot FD \cdot T - 0.0004361 \cdot T^2 - 0.002045 \cdot FD \cdot T^2 + 1.55 \cdot 10^{-6} \cdot T^3$$

Donde:

e = energía mecánica liberada (MJ/m³)

FD= grado de llenado (filling degree)

T= temperatura en el momento de la explosión (°K)

Posterior a esto, el resultado debe ser multiplicado por el volumen total del recipiente; con ese valor es posible obtener la cantidad de masa equivalente de TNT con la siguiente expresión:

$$m_{TNT} = \frac{\beta \cdot E^* \cdot 10^3}{4680}$$

Donde:

m_{TNT} = Masa equivalente TNT (kg)

β = factor (usualmente 0.45) que tiene en cuenta la fracción de energía invertida en crear sobrepresión.

Asumiendo que por cada kg de TNT se liberan 4680 kJ.

Los criterios utilizados para la estimación de las consecuencias de la sobrepresión son los establecidos en la Tabla 14 y las distancias consideradas en la Tabla 15. Los valores que establece SEMARNAT para la sobrepresión son para zona de alto riesgo 1 lb/in² (0.0689 bar) y para zona de amortiguamiento 0.5 lb/in² (0.0344 bar).

Tabla 14. Criterios de sobrepresión para simulación por explosión

Sobrepresión (bar)	Consecuencias a personas	Consecuencias a infraestructura
0.07	Ligeras lesiones por fragmentos pueden ocurrir.	Colapso de techo de un tanque.
0.34	Ruptura de tímpanos en el 1% de las personas. Todos presentan lesiones, algunos incluso muerte.	Postes de madera de teléfonos rotos; la mayor parte de los edificios destruidos, excepto por el refuerzo de las paredes de concreto
0.7	Gran parte del total de personas mueren.	Probable destrucción total de edificios; maquinaria pesada movida y seriamente dañada.
1.4	Próximo al 100% de muerte.	-

Tabla 15. Criterios de distancia para simulación por explosión

Distancia (m)	Criterio
1.5	Distancia permitida entre tanques según la NOM-001-SESH-2014.
30	Distancia mínima de recipientes de almacenamiento de otras plantas de distribución, depósito o suministro propiedad a terceros según la NOM-001-SESH-2014.
100	Distancia mínima permitida a cualquier casa habitación según la NOM-001-SESH-2014.
120	Distancia entre gasera más cercana a asentamiento habitacional.

CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA



METODOLOGÍA PROBIT

Se basa en predecir los efectos adversos de distintas variables, las cuales pueden ser descritas mediante transformaciones de la distribución normal de probabilidad (Casal, 2018).

a) Ecuaciones PROBIT para efectos térmicos:

Quemaduras mortales (protegidos con ropa)

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

Quemaduras mortales (sin protección)

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

Quemaduras de segundo grado

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

Quemaduras de primer grado

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

Donde:

t= tiempo de exposición (s)

I= Intensidad de radiación (W/m^2)

Esta metodología permite determinar el porcentaje de población expuesta que se verá afectada por las consecuencias a un evento por su equivalencia en unidades PROBIT.

Tabla 16. Equivalencia entre valores PROBIT y porcentaje de población afectada

Pr	%												
0	0	4.01	16	4.53	32	4.95	48	5.36	64	5.84	80	6.75	96
2.67	1	4.05	17	4.56	33	4.97	49	5.39	65	5.88	81	6.88	97
2.95	2	4.08	18	4.59	34	5.00	50	5.41	66	5.92	82	7.05	98
3.12	3	4.12	19	4.61	35	5.03	51	5.44	67	5.95	83	7.33	99
3.25	4	4.16	20	4.64	36	5.05	52	5.47	68	5.99	84	7.37	99.1
3.36	5	4.19	21	4.67	37	5.08	53	5.50	69	6.04	85	7.41	99.2
3.45	6	4.23	22	4.69	38	5.10	54	5.52	70	6.08	86	7.46	99.3
3.52	7	4.26	23	4.72	39	5.13	55	5.55	71	6.13	87	7.51	99.4
3.59	8	4.29	24	4.75	40	5.15	56	5.58	72	6.18	88	7.58	99.5
3.66	9	4.33	25	4.77	41	5.18	57	5.61	73	6.23	89	7.65	99.6
3.72	10	4.36	26	4.80	42	5.20	58	5.64	74	6.28	90	7.75	99.7
3.77	11	4.39	27	4.82	43	5.23	59	5.67	75	6.34	91	7.88	99.8
3.82	12	4.42	28	4.85	44	5.25	60	5.71	76	6.41	92	8.09	99.9
3.87	13	4.45	29	4.87	45	5.28	61	5.74	77	6.48	93		
3.92	14	4.48	30	4.90	46	5.31	62	5.77	78	6.55	94		
3.96	15	4.50	31	4.92	47	5.33	63	5.81	79	6.64	95		

Fuente: D.J. Finney, PROBIT Analysis, 1971, p.25. citado en Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications. Crowl, Daniel, 1990

FRAGMENTOS

Para el cálculo de la distancia de los fragmentos es necesario contar con datos de velocidad inicial y masa del fragmento, usualmente no se cuenta con estos datos antes del evento. Se sugiere una fórmula para predecir la distancia de fragmentos de tanques cilíndricos (Casal,2018).

Para tanques capacidad > 5m³ l= 465 M^{0.1}

Para tanques capacidad < 5m³ l= 90 M^{0.33}

Donde:

M= masa contenida en el recipiente (kg)

l= distancia (m)

5.2. ENTREVISTAS A PROFUNDIDAD CON ACTORES PRINCIPALES

El objetivo de realizar las entrevistas a los actores principales, como lo son autoridad, población y gaseras, es para conocer las medidas de seguridad que cada uno ha implementado a raíz del accidente ocurrido.

Se optó por realizar una entrevista semiestructurada, puesto que se preparó un guion temático para cada actor principal, enfocado a cumplir con el objetivo anteriormente mencionado. En general las preguntas fueron abiertas para permitir que el entrevistado diera sus opiniones.

5.3. DETERMINACIÓN DE LOS CAMBIOS EN LOS ASENTAMIENTOS HABITACIONALES

Por medio de Fotointerpretación de fotos aéreas, Sistemas de Información Geográfica (SIG) y datos de censos de población de INEGI se determinarán los cambios ocurridos en la distribución de los asentamientos habitacionales en la zona de estudio.

En donde fotointerpretación de una imagen consiste en examinar la fotografía de los objetos con el propósito de identificarlos, definir su categoría, naturaleza, límites y su relación con el medio (Gonzales & Marey, 2004).

Con fotografías aéreas históricas de la zona y por medio de un SIG, se trazarán polígonos señalando la zona industrial y la zona urbana.

Se compararán las fotos de los años que se consigan, así como los datos de población de los censos de INEGI, y estos se analizarán.

CAPÍTULO 6. RESULTADOS

El simulador utilizado fue SCRI-Fuego, Modelos de simulación para análisis de consecuencias por fuego y explosiones. Versión 1.4 Dinámica Heurística, S.A. de C.V. diciembre 2012.

RESULTADOS POR EFECTOS TÉRMICOS

Para las simulaciones se consideraron 16 escenarios con distintas variaciones descritas en los siguientes párrafos.

Hay dos capacidades de los tanques que se están simulando como ya se ha mencionado anteriormente de 250 000 l (250 m³) y de 200 000 l (200 m³).

En algunos escenarios se considera que el tanque de almacenamiento se encuentra al 100% de su capacidad y en otros que se encuentra al 85% (cantidad máxima que se debe almacenar por tanque). Esto se puede observar en la columna de Cantidad de gas simulada. Se considera una densidad del gas de 0.6 kg/l de acuerdo con la NOM-004-SEDG-2004, Instalaciones de aprovechamiento de Gas L.P. Diseño y construcción.

El tiempo de exposición se considera de 1 min (60 s) debido a que a 37.5 kW/m² equivale al 100% de mortalidad de acuerdo con la tabla de criterios considerando radiación térmica. De acuerdo con Casal la energía térmica de una BLEVE – Bola de Fuego es liberada en un período corto de tiempo equivalente a 40 s (Casal et al., 2001).

La humedad relativa, dirección y velocidad del viento y temperatura se tomaron de los valores que se reportan en el PAMI San Juanico (Grupo PAMI SJI, 2016).

En los escenarios 1, 2, 5, 6, 9, 10, 13 y 14 se considera en el simulador como zona industrial y en los escenarios 3, 4, 7, 8, 11, 12, 15 y 16 como zona urbana, no hay distinción en los resultados entre ambas zonas.

En el Anexo 1 se presenta una tabla con el resumen de los factores que se consideraron para la simulación y los documentos arrojados por el simulador.

En la Tabla 17 se presenta un resumen de los radios de afectación por efectos térmicos obtenidos en el simulador.

Tabla 17. Resultados de radio de afectación por efectos térmicos obtenidos por el simulador

	Escenario	Radiación térmica (kW/m ²)				Diámetro de bola de fuego (m)	Tiempo de duración bola de fuego (s)
		1.4	4	12.5	37.5		
Radios de afectación (m)	1	1 375.01	874.56	541.95	340.21	308.17	18.95
	2	1 293.43	822.84	509.95	320.03	291.92	18.45
	3	1 375.01	874.56	541.95	340.21	308.17	18.95
	4	1 293.43	822.84	509.95	320.03	291.92	18.45
	5	1 571.64	995.65	615.34	387.95	308.17	18.95
	6	1 478.3	936.72	579.01	364.99	291.92	18.45
	7	1 571.64	995.65	615.34	387.95	308.17	18.95
	8	1 478.3	936.72	579.01	364.99	291.92	18.45
	9	1 264.25	804.34	498.51	312.81	286.08	18.26
	10	1 189.25	756.77	469.08	294.24	271.00	17.77
	11	1 264.25	804.34	498.51	312.81	286.08	18.26
	12	1 189.25	756.77	469.08	294.24	271.00	17.77
	13	1 444.92	915.64	566.02	356.78	286.08	18.26
	14	1 359.12	861.44	532.6	335.66	271.00	17.77
	15	1 444.92	915.64	566.02	356.78	286.08	18.26
	16	1 359.12	861.44	532.6	335.66	271.00	17.77

De acuerdo con los datos obtenidos de la simulación teniendo en cuenta los criterios de radiación térmica se decidió tomar los datos de los escenarios 2 y 10 para realizar los gráficos de los radios de afectación.

En el escenario 2 se considera un tanque de almacenamiento de 250 000 l (250 m³) de capacidad, lleno al 85% y un tiempo de exposición de 60 s. Los resultados obtenidos son radio de 1 293.43 m para una radiación térmica de 1.4 kW/m², radio de 822.84 m para 4 kW/m², radio de 509.95 m para 12.5 kW/m² y 320.03 m para 37.5 kW/m². Con diámetro de bola de fuego de 291.92 m y duración de 18.45 s. Las gaseras con tanques de esta capacidad son la 1, 3, 4 y 6.

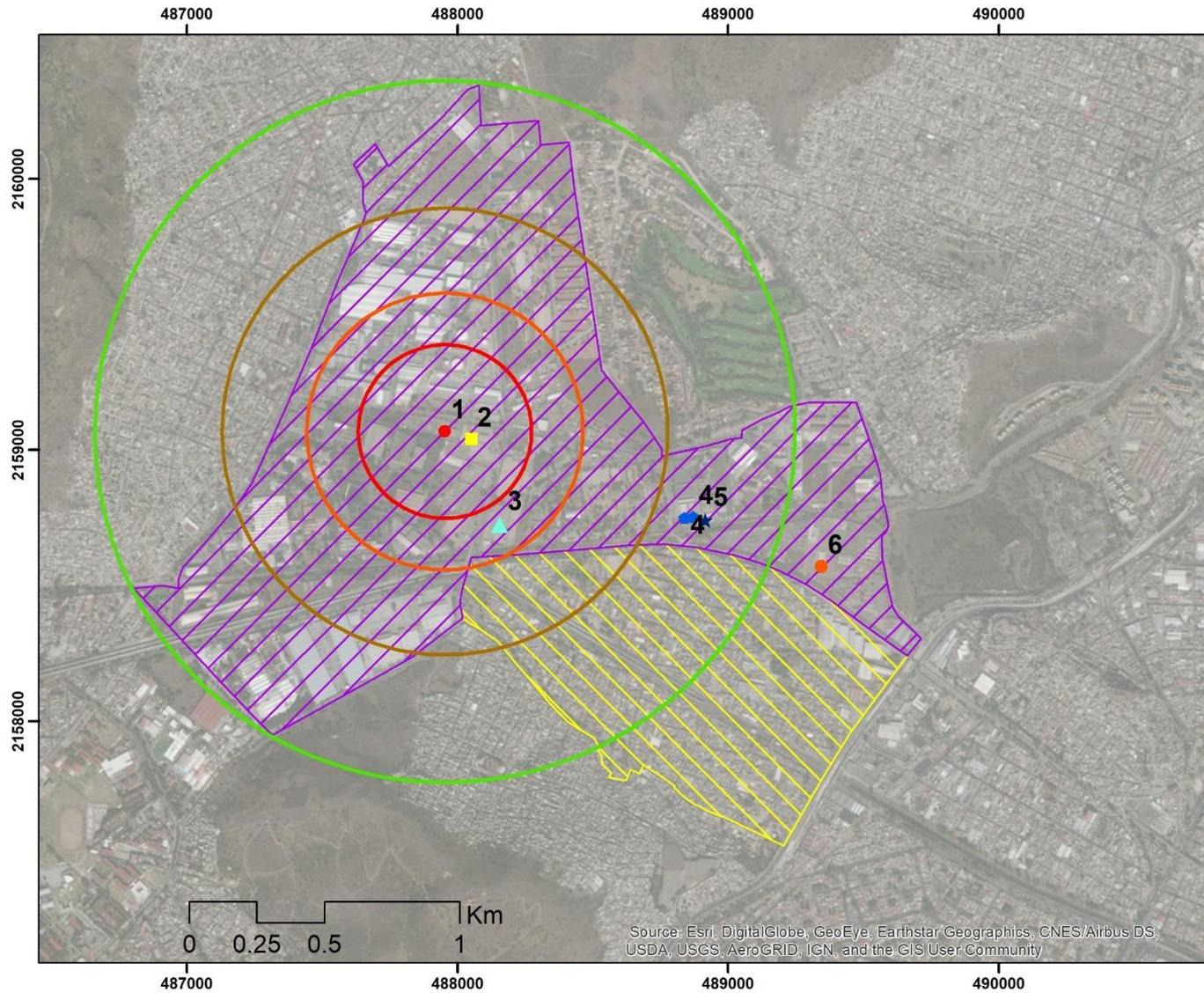
En el escenario 10 se considera un tanque de almacenamiento de 200 000 l (200 m³) de capacidad, lleno al 85% y un tiempo de exposición de 60 s. Los resultados obtenidos son radio de 1 189.25 m para una radiación térmica de 1.4 kW/m², radio de 756.77 m para 4 kW/m², radio de 469.08 m para 12.5 kW/m² y 294.24 m para 37.5 kW/m². Con diámetro de bola de fuego de 271 m y duración de 17.77 s. Las gaseras con tanques de esta capacidad son la 2, 4 y 5.

En las Figuras 12 a la 18 se presentan de manera gráfica los resultados obtenidos para cada una de las gaseras. En la Tabla 18 se presenta un resumen de las distancias con los criterios de estimación de las consecuencias a equipo, materiales y personas

Tabla 18. Resumen de resultados de consecuencias a equipo, materiales y personas

kW/m²	Daño a equipo, materiales o personas	Distancia (m) para cap. Tanque 250 m³	Distancia (m) para cap. Tanque 200 m³
1.4	Máximo soportable para individuos sin ropa de protección especial y tiempo prolongado.	1 293.43	1 189.25
4	Suficiente para causar dolor si la exposición es mayor a 20 segundos. Quemadura de 1er grado.	822.84	756.77
12.5	Energía mínima para encender madera después de una larga exposición, con llama. Ignición de tubos y recubrimientos de plástico en cables eléctricos. Daños severos a equipos de instrumentación. Máximo soportable protegido con trajes especiales, por tiempo limitado. Sin trajes especiales, 1% de mortalidad en 1 minuto, quemaduras de 1er grado en 10 segundos.	509.95	469.08
37.5	Suficiente para causar daños a equipos de proceso; colapso de estructuras. 100% mortalidad a personas	320.03	294.24

CAPÍTULO 6. RESULTADOS



Simbología

- Fraccionamiento Industrial La Presa
- Colonia San Juan Ixhuatepec

Volumen (tanque) (m3)

- 250
- 200
- 250
- 250 y 200
- 200
- 250

Radio de afectación

Radiación Térmica kW/m2	Distancia (m)
	1.4 1293.43
	4 822.84
	12.5 509.95
	37.5 320.03



1:20,000

Datum: WGS 84
 Proyección: UTM 14N
 Unidad de Medida: metros
 Fuente:
 Marco Geoestadístico
 2016 INEGI
 Elaboró: Zuilly Annais
 Ballesteros Gómez
 Junio 2017

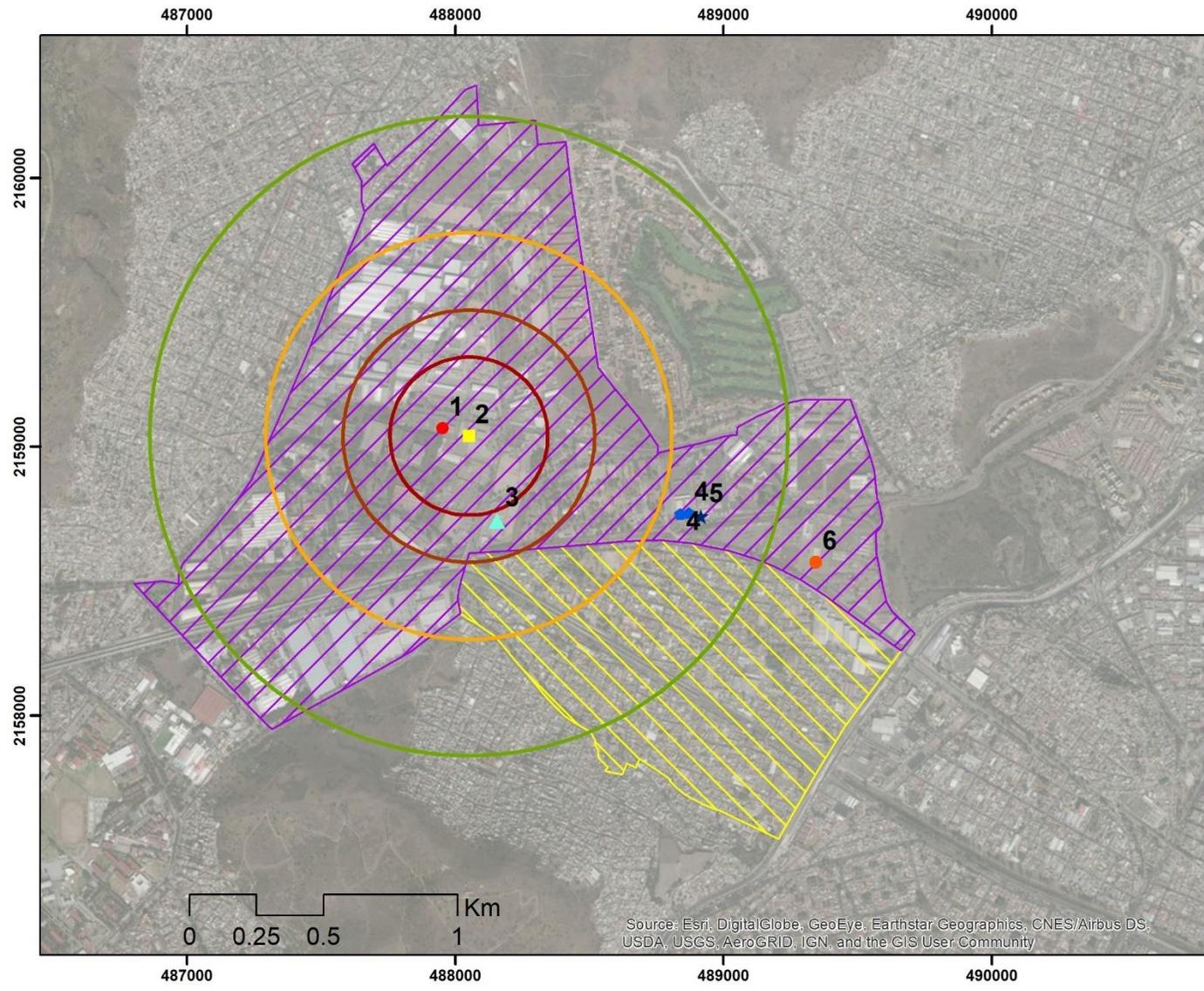
**Gasera
 1
 (250m3)**



Riesgos en Asentamientos habitacionales por la cercanía con zonas de almacenamiento de Gas L.P.

Figura 12. Resultados por Bola de Fuego en Gasera 1

CAPÍTULO 6. RESULTADOS



Simbología

- Fraccionamiento Industrial La Presa
- Colonia San Juan Ixhuatepec

Volumen (tanque) (m3)

- 1 250
- 2 200
- 3 250
- 4 250 y 200
- 5 200
- 6 250

Radio de afectación

Radiación Térmica kW/m2	Distancia (m)
1.4	1189.25
4	756.77
12.5	469.08
37.5	294.24

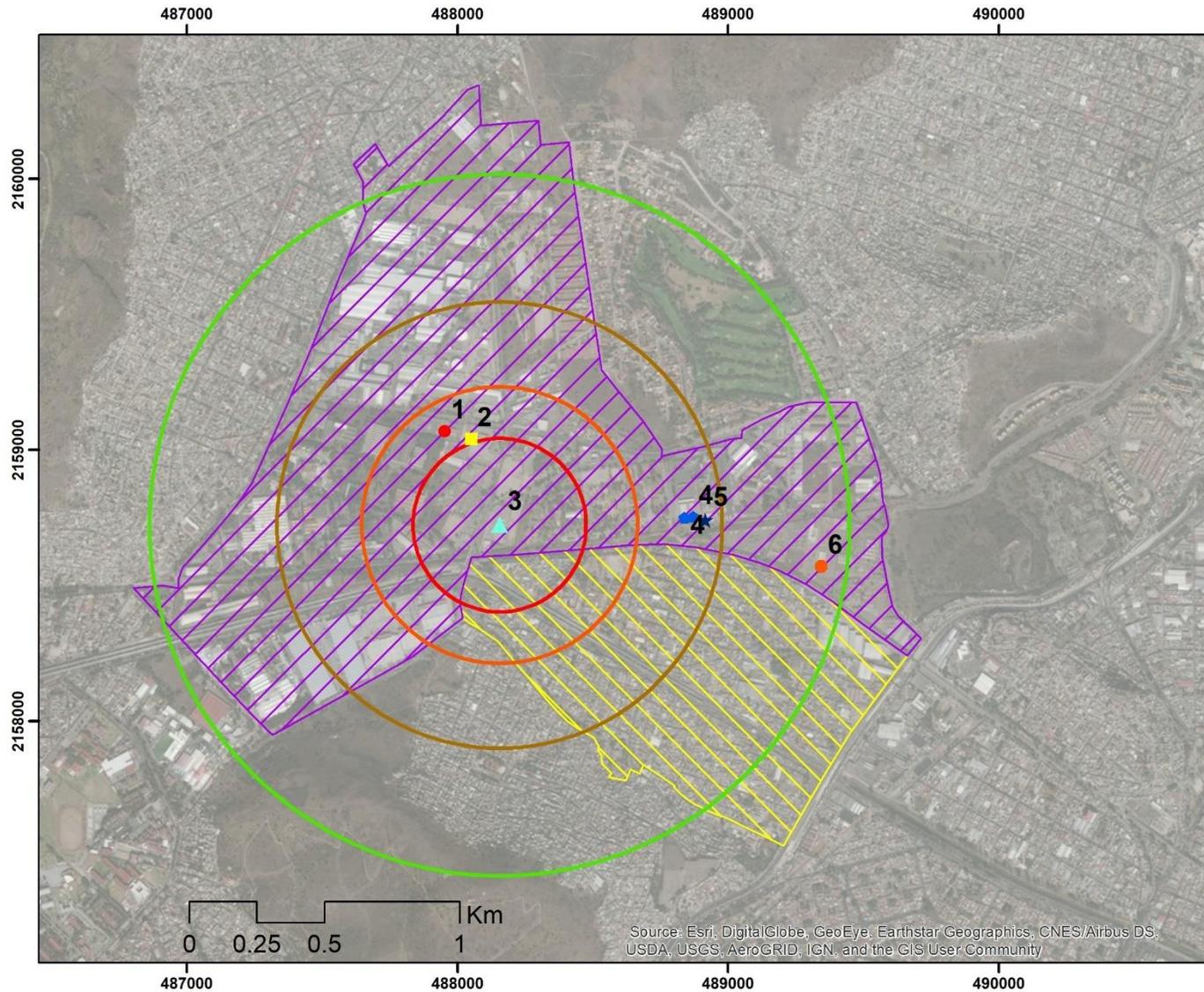
Datum: WGS 84
 Proyección: UTM 14N
 Unidad de Medida: metros
 Fuente: Marco Geoestadístico 2016 INEGI
 Elaboró: Zuilly Annais Ballesteros Gómez
 Junio 2017

Riesgos en Asentamientos habitacionales por la cercanía con zonas de almacenamiento de Gas L.P.

Gasera 2 (200m3)

Figura 13. Resultados por Bola de Fuego en Gasera 2

CAPÍTULO 6. RESULTADOS



Simbología

- Fraccionamiento Industrial La Presa
- Colonia San Juan Ixhuatepec

Volumen (tanque) (m³)

- 1 250
- 2 200
- 3 250
- 4 250 y 200
- 5 200
- 6 250

Radio de afectación

Radiación Térmica kW/m ²	Distancia (m)
1.4	1293.43
4	822.84
12.5	509.95
37.5	320.03

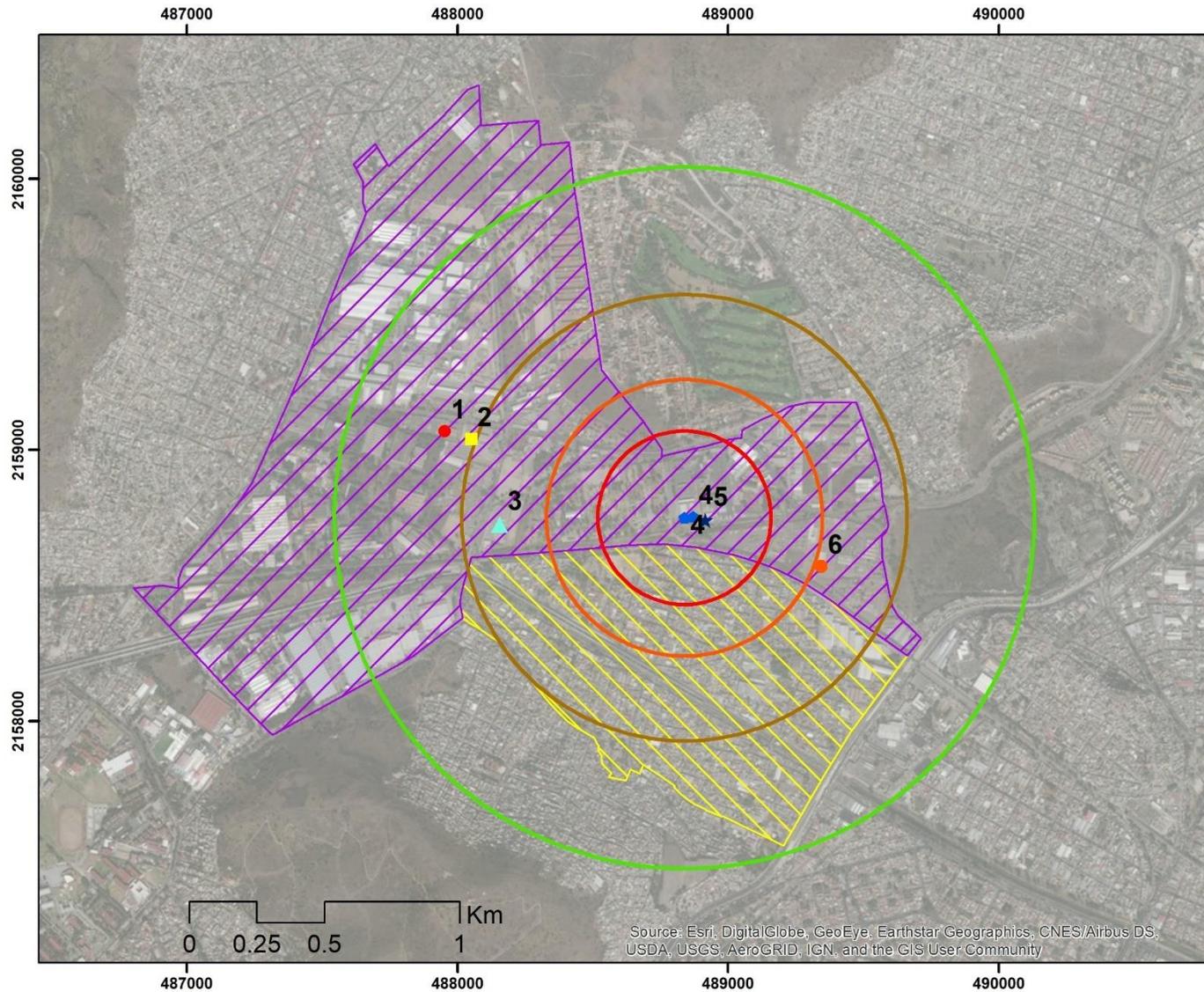
Datum: WGS 84
 Proyección: UTM 14N
 Unidad de Medida: metros
 Fuente: Marco Geoestadístico 2016 INEGI
 Elaboró: Zuilly Annais Ballesteros Gómez
 Junio 2017

Riesgos en Asentamientos habitacionales por la cercanía con zonas de almacenamiento de Gas L.P.

Gasera 3 (250m³)

Figura 14. Resultados por Bola de Fuego en Gasera 3

CAPÍTULO 6. RESULTADOS



Simbología

- Fraccionamiento Industrial La Presa
- Colonia San Juan Ixhuatepec

Volumen (tanque) (m3)

- 250
- 200
- 250
- 250 y 200
- 200
- 250

Radio de afectación

Radiación Térmica kW/m2	Distancia (m)
1.4	1293.43
4	822.84
12.5	509.95
37.5	320.03



1:20,000

Datum: WGS 84
 Proyección: UTM 14N
 Unidad de Medida: metros
 Fuente:
 Marco Geoestadístico 2016 INEGI
 Elaboró: Zuilly Annais Ballesteros Gómez
 Junio 2017

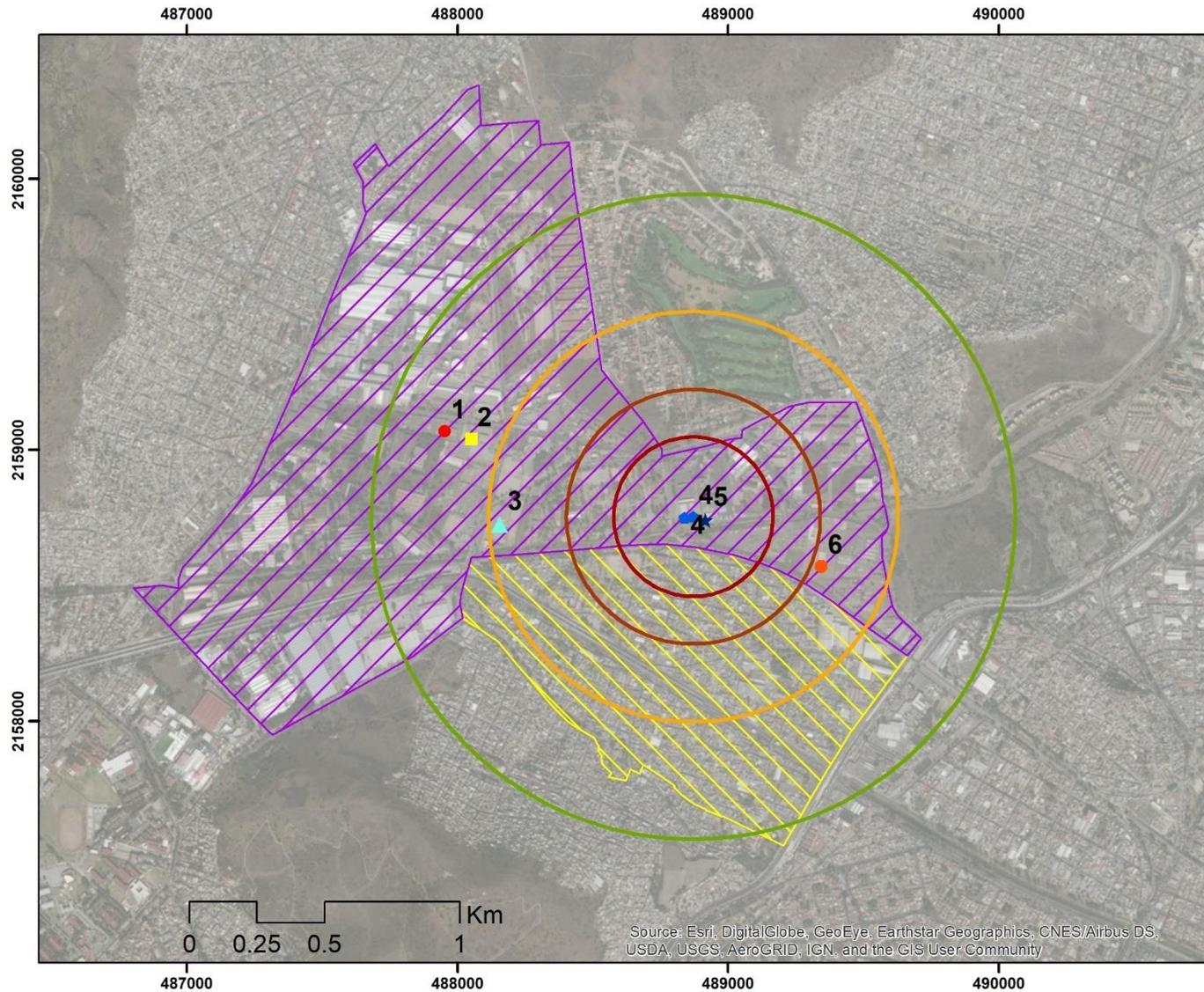
Gasera 4 (250m3)



Riesgos en Asentamientos habitacionales por la cercanía con zonas de almacenamiento de Gas L.P.

Figura 15. Resultados por Bola de Fuego en Gasera 4 (250 m³)

CAPÍTULO 6. RESULTADOS



Simbología

- Fraccionamiento Industrial La Presa
- Colonia San Juan Ixhuatepec

Volumen (tanque) (m3)

- 1 250
- 2 200
- 3 250
- 4 250 y 200
- 5 200
- 6 250

Radio de afectación

Radiación Térmica kW/m2	Distancia (m)
1.4	1189.25
4	756.77
12.5	469.08
37.5	294.24

Datum: WGS 84
 Proyección: UTM 14N
 Unidad de Medida: metros
 Fuente: Marco Geoestadístico 2016 INEGI
 Elaboró: Zuilly Annais Ballesteros Gómez
 Junio 2017

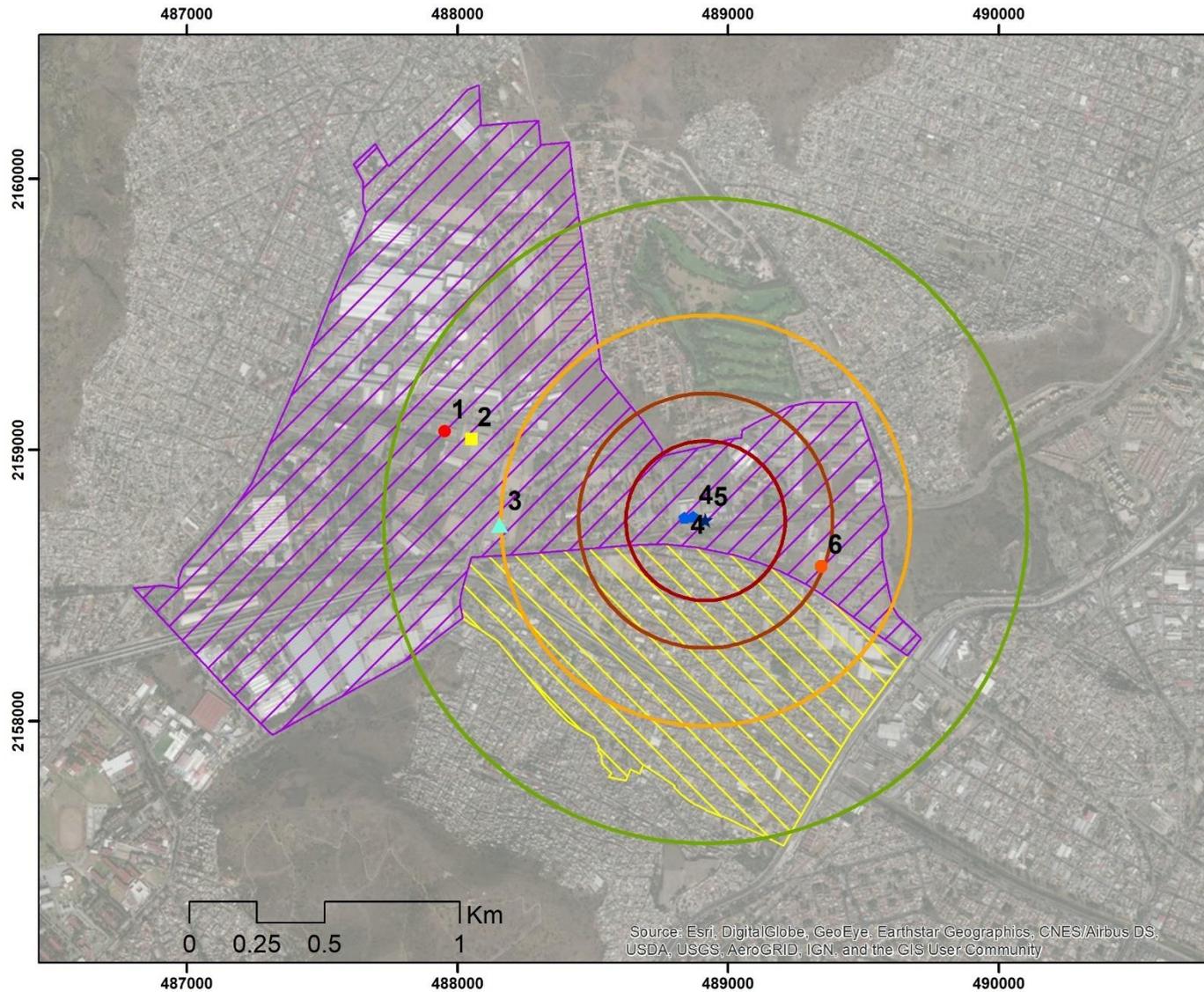


Riesgos en Asentamientos habitacionales por la cercanía con zonas de almacenamiento de Gas L.P.

Gasera 4 (200m3)

Figura 16. Resultados por Bola de Fuego en Gasera 4 (200 m³)

CAPÍTULO 6. RESULTADOS



Simbología

- Fraccionamiento Industrial La Presa
- Colonia San Juan Ixhuatepec

Volumen (tanque) (m3)

- 1 250
- 2 200
- 3 250
- 4 250 y 200
- 5 200
- 6 250

Radio de afectación

Radiación Térmica kW/m2	Distancia (m)
1.4	1189.25
4	756.77
12.5	469.08
37.5	294.24

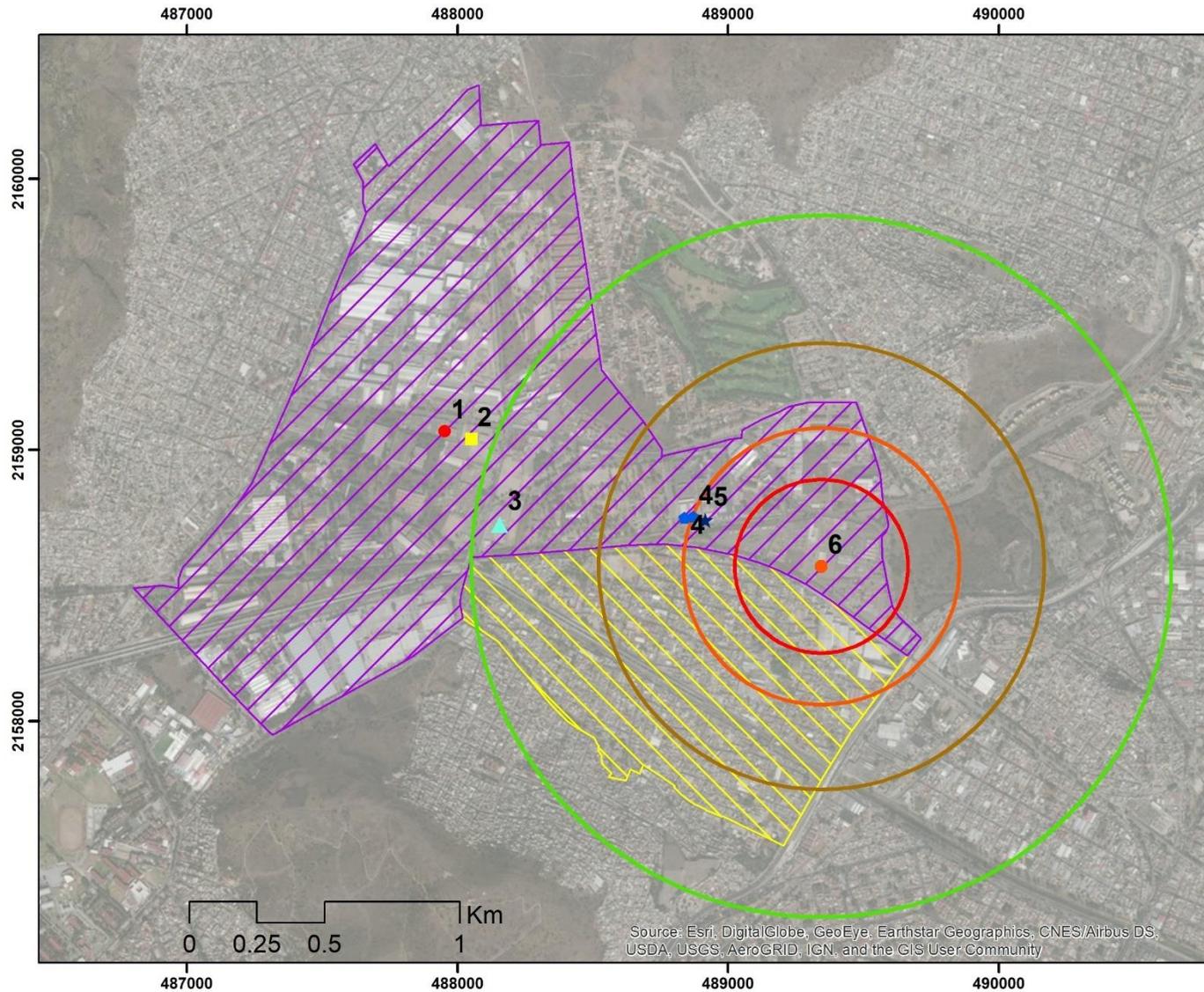
Datum: WGS 84
 Proyección: UTM 14N
 Unidad de Medida: metros
 Fuente: Marco Geoestadístico 2016 INEGI
 Elaboró: Zuilly Annais Ballesteros Gómez
 Junio 2017

Riesgos en Asentamientos habitacionales por la cercanía con zonas de almacenamiento de Gas L.P.

Gasera 5 (200m3)

Figura 17. Resultados por Bola de Fuego en Gasera 5

CAPÍTULO 6. RESULTADOS



Simbología

- Fraccionamiento Industrial La Presa
- Colonia San Juan Ixhuatepec

Volumen (tanque) (m3)

- 1 250
- 2 200
- 3 250
- 4 250 y 200
- 5 200
- 6 250

Radio de afectación

Radiación Térmica kW/m2	Distancia (m)
1.4	1293.43
4	822.84
12.5	509.95
37.5	320.03

Datum: WGS 84
 Proyección: UTM 14N
 Unidad de Medida: metros
 Fuente: Marco Geoestadístico 2016 INEGI
 Elaboró: Zuilly Annais Ballesteros Gómez
 Junio 2017

Riesgos en Asentamientos habitacionales por la cercanía con zonas de almacenamiento de Gas L.P.

Gasera 6 (250m3)

Figura 18. Resultados por Bola de Fuego en Gasera 6

CAPÍTULO 6. RESULTADOS



Se realizó el cálculo de personas expuestas por la radiación térmica que incluye los valores de las 6 gaseras como se muestra en la Figura 19 y que se resume en la Tabla 19.

Tabla 19. Número de personas, AGEB y manzanas por radio de afectación

Radiación térmica (kW/m ²)	Número de AGEB	Número de manzanas	Número de personas
1.4	33	727	96 736
4	19	258	34 698
12.5	9	82	11 352
37.5	5	46	5 697

Se realizó el mismo cálculo para determinar el número de personas expuestas a la radiación térmica por gasera como se muestra en la Tabla 20.

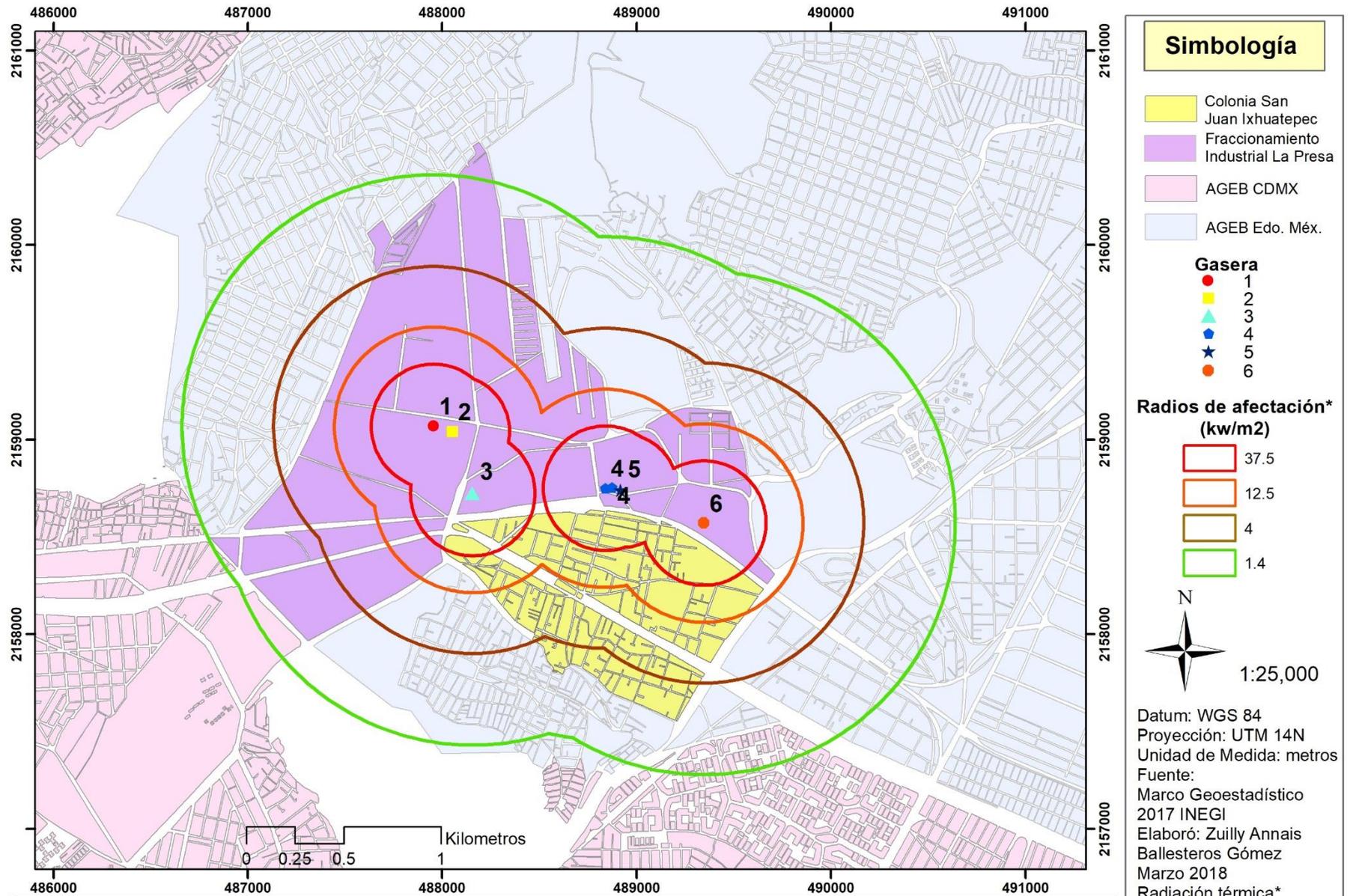
Tabla 20. Número de personas, AGEB y manzanas por radio de afectación por gasera

Radiación térmica (kW/m ²)	Número de AGEB	Número de manzanas	Número de personas
Gasera 1			
1.4	21	323	44 329
4	10	64	7 944
12.5	4	9	427
37.5	3	5	262
Gasera 2			
1.4	15	238	31 849
4	9	39	4 035
12.5	4	9	427
37.5	3	6	262
Gasera 3			
1.4	17	325	41 999
4	8	96	13 083
12.5	6	29	3 245
37.5	3	13	992
Gasera 4 (250 m³)			
1.4	17	343	87 072
4	11	103	14 909
12.5	3	39	5 419
37.5	3	20	2 611
Gasera 4 (200 m³)			
1.4	16	283	36 413
4	9	91	12 590

CAPÍTULO 6. RESULTADOS



Radiación térmica (kW/m ²)	Número de AGEB	Número de manzanas	Número de personas
12.5	3	38	5 350
37.5	3	17	1 694
Gasera 5			
1.4	16	287	36 452
4	9	91	12 702
12.5	3	36	4 862
37.5	3	20	1 936
Gasera 6			
1.4	23	460	55 995
4	11	127	16 179
12.5	4	41	5 853
37.5	2	18	2 381



Riesgos en Asentamientos habitacionales por la cercanía con zonas de almacenamiento de Gas L.P.

Figura 19. AGEB y Radios de Afectación

AGEB y Radios de afectación

RESULTADOS POR EFECTOS MECÁNICOS

Se ha efectuado el cálculo de distancia a determinadas sobrepresiones conforme a los criterios de consecuencias a personas e infraestructuras indicadas en la Tabla 14. De igual manera se realizó el cálculo de la sobrepresión máxima (pico) a determinadas distancias, indicadas en la Tabla 15. Se aplicaron los tres métodos indicados en el apartado 5.1.

En el Anexo 2 se presenta la hoja de cálculo para los resultados obtenidos.

A. Estimación de ΔP usando la energía de sobrecalentamiento del líquido (Casal-Salla, 2007)

Los datos utilizados para realizar los cálculos se presentan en la Tabla 21.

Tabla 21. Datos utilizados para cálculos de sobrepresión

Sustancia	Límites sobrecalentamiento		Entalpía del líquido (kJ/kg)	Masa (kg)
	T (°K)	P (bar)		
Propano	326	18.3	247.1	127500

$h_{10} = 165.4 \text{ kJ/kg}$

- 1) Para proceso isentrópico hay que considerar que entre el 7 y 14% de la energía se convierte en sobrepresión.

En la Tabla 22 se presenta los resultados obtenidos de sobrepresión (bar) para los criterios de distancia establecidos en la Tabla 15 para tanques con capacidad de 250 y 200 m³.

Tabla 22. Resultados de sobrepresión por distancia establecida en proceso isentrópico

Distancia (m)	Sobrepresión (bar)	
	Para tanques de 250 m ³	Para tanques de 200 m ³
30	0.57	0.5
100	0.09	0.08
120	0.07	0.07

En la Tabla 23 se presenta los resultados obtenidos de distancia (m) para los criterios de distancia establecidos en la Tabla 14 para tanques con capacidad de 250 y 200 m³.

Tabla 23. Resultados de distancia por presión establecida en proceso isentrópico

Sobrepresión (bar)	Distancia (m)	
	Para tanques de 250 m ³	Para tanques de 200 m ³
0.07	122.1	113.3
0.34	44.1	40.9
0.7	27.1	25.2
1.4	20.3	18.9

- 2) Para proceso irreversible hay que considerar que entre el 3.6 y 5% de la energía se convierte en sobrepresión.

En la Tabla 24 se presenta los resultados obtenidos de sobrepresión (bar) para los criterios de distancia establecidos en la Tabla 15 para tanques con capacidad de 250 y 200 m³.

Tabla 24. Resultados de sobrepresión por distancia establecida en proceso irreversible

Distancia (m)	Sobrepresión (bar)	
	Para tanques de 250 m ³	Para tanques de 200 m ³
30	0.31	0.28
100	0.06	0.05
120	0.05	0.04

En la Tabla 25 se presenta los resultados obtenidos de distancia (m) para los criterios de distancia establecidos en la Tabla 14 para tanques con capacidad de 250 y 200 m³.

Tabla 25. Resultados de distancia por presión establecida en proceso irreversible

Sobrepresión (bar)	Distancia (m)	
	Para tanques de 250 m ³	Para tanques de 200 m ³
0.07	86.6	80.4
0.34	31.3	29.0
0.7	19.3	17.9
1.4	14.4	13.4

B. Estimación de ΔP por curvas características (González Ferradas et al, 2006)

Suponiendo un proceso irreversible y usando la Figura 11 (Fig. 5.15 en Casal, 2018) se obtuvieron los resultados de la Tabla 26 y 27.

Tabla 26. Resultados de sobrepresión por distancia establecida por gráfico de curvas características

Distancia (m)	Sobrepresión (bar)	
	Para tanques de 250 m ³	Para tanques de 200 m ³
30	0.3	0.25
100	0.05	0.05
120	0.05	0.04

Tabla 27. Resultados de distancia por presión establecida por gráfico de curvas características

Sobrepresión (bar)	Distancia (m)	
	Para tanques de 250 m ³	Para tanques de 200 m ³
0.07	200	200
0.34	<25	<25
0.7	<25	<25
1.4	<25	<25

C. Determinación de la sobrepresión usando una aproximación polinomial (Hemmatian, et al. 2017)

Los resultados de sobrepresión por criterio de distancia establecido en la Tabla 15 utilizando una aproximación polinomial se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28. Resultados de sobrepresión por distancia establecida por gráfico de curvas características

Distancia (m)	Sobrepresión (bar)	
	Para tanques de 250 m ³	Para tanques de 200 m ³
30	0.46	0.4
100	0.08	0.07
120	0.06	0.06

Los resultados de distancia por criterio de sobrepresión establecido en la Tabla 14 utilizando una aproximación polinomial se muestra en la Tabla 29.

Tabla 29. Resultados de distancia por presión establecida por gráfico de curvas características

Sobrepresión (bar)	Distancia (m)	
	Para tanques de 250 m ³	Para tanques de 200 m ³
0.07	108.2	100.4
0.34	39.1	36.3
0.7	24.0	22.3
1.4	18.0	16.7

En las tablas posteriores se presenta un resumen de los resultados. En las cuales es posible comparar los resultados de las 3 metodologías realizadas.

Tabla 30. Resumen de resultados de sobrepresiones a distancias establecidas para tanques de 250 m³

Distancia (m)	Sobrepresión (bar) para tanques de 250 m ³			
	Casal-Salla, 2007		González Ferradas, 2018	Hemmantian, et al., 2017
	Proceso isentrópico	Proceso irreversible		
30	0.57	0.31	0.3	0.46
100	0.09	0.06	0.05	0.08
120	0.07	0.05	0.05	0.06

Tabla 31. Resumen de resultados de distancias a presiones establecidas para tanques de 250 m³

Sobrepresión (bar)	Distancia (m) para tanques de 250 m ³			
	Casal-Salla, 2007		González Ferradas, 2018	Hemmantian, et al., 2017
	Proceso isentrópico	Proceso irreversible		
0.07	122.1	86.6	200	108.2
0.34	44.1	31.3	<25	39.1
0.7	27.1	19.3	<25	24
1.4	20.3	14.4	<25	18

Tabla 32. Resumen de resultados de sobrepresiones a distancias establecidas para tanques de 200 m³

Distancia (m)	Sobrepresión (bar) para tanques de 200 m ³			
	Casal-Salla, 2007		González Ferradas, 2018	Hemmantian, et al., 2017
	Proceso isentrópico	Proceso irreversible		
30	0.5	0.28	0.25	0.4
100	0.08	0.05	0.05	0.07
120	0.07	0.04	0.04	0.06

Tabla 33. Resumen de resultados de distancias a presiones establecidas para tanques de 200 m³

Sobrepresión (bar)	Distancia (m) para tanques de 200 m ³			
	Casal-Salla, 2007		González Ferradas, 2018	Hemmantian, et al., 2017
	Proceso isentrópico	Proceso irreversible		
0.07	113.3	80.4	200	100.4
0.34	40.9	29	<25	36.3
0.7	25.2	17.9	<25	22.3
1.4	18.9	13.4	<25	16.7

RESULTADOS METODOLOGÍA PROBIT

Los resultados de la metodología PROBIT respecto a porcentaje de lesiones a personas por efectos térmicos causados por un evento BLEVE-Bola de fuego se presentan en la Tabla 34.

Tabla 34. Resultados obtenidos Metodología PROBIT para lesiones por efecto térmico

Tiempo de exposición= 60 s	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%
Radiación térmica (kW/m ²)	37.5		12.5		4		1.4	
Quemaduras mortales (protegidos con ropa)	9.2	100	5.45	67-68	1.56	0	-2.02	0
Quemaduras mortales (sin protección)	10.05	100	6.3	90-91	2.41	0	-1.17	0
Quemaduras de segundo grado	11.61	100	7.19	98-99	2.6	0	-1.62	0
Quemaduras de primer grado	14.92	100	10.49	100	5.91	81-82	1.68	0

Tabla 35. Número de personas con base al % de la metodología PROBIT

Radiación térmica (kW/m ²)	Número total de personas	Número de personas de acuerdo al % PROBIT			
		Quemaduras mortales (protegidos con ropa)	Quemaduras mortales (sin protección)	Quemaduras de segundo grado	Quemaduras de primer grado
Gasera 1					
1.4	44 329	0	0	0	0
4	7 944	0	0	0	6 514
12.5	427	290	389	423	427
37.5	262	262	262	262	262
Gasera 2					
1.4	31 849	0	0	0	0
4	4 035	0	0	0	3 309
12.5	427	290	389	423	427
37.5	262	262	262	262	262
Gasera 3					
1.4	41 999	0	0	0	0
4	13 083	0	0	0	10 728
12.5	3 245	2 207	2 953	3 213	3 245
37.5	992	992	992	992	992
Gasera 4 (250 m³)					
1.4	87 072	0	0	0	0
4	14 909	0	0	0	12 225
12.5	5 419	3 685	4 931	5 365	5 419
37.5	2 611	2 611	2 611	2 611	2 611

Radiación térmica (kW/m ²)	Número total de personas	Número de personas de acuerdo al % PROBIT			
		Quemaduras mortales (protegidos con ropa)	Quemaduras mortales (sin protección)	Quemaduras de segundo grado	Quemaduras de primer grado
Gasera 4 (200 m³)					
1.4	36 413	0	0	0	0
4	12 590	0	0	0	10 323
12.5	5 350	3 638	4 869	5 297	5 350
37.5	1 694	1 694	1 694	1 694	1 694
Gasera 5					
1.4	36 452	0	0	0	0
4	12 702	0	0	0	10 416
12.5	4 862	3 306	4 424	4 813	4 862
37.5	1 936	1 936	1 936	1 936	1 936
Gasera 6					
1.4	55 995	0	0	0	0
104	16 179	0	0	0	13 267
12.5	5 853	3 980	5 326	5 794	5 853
37.5	2 381	2 381	2 381	2 381	2 381

RESULTADOS FRAGMENTOS

Los resultados de las distancias que podrían alcanzar los fragmentos de los tanques con base en lo indicado en la metodología se presentan en la Tabla 36.

Tabla 36. Resultado de distancias de fragmentos

	Tanque 250 m ³	Tanque 200 m ³
M (kg)	127 500	102 000
l (m)	1 506.62	1 473.37

Donde:

M= masa contenida en el recipiente (kg)

l= distancia (m)

RESULTADOS ANÁLISIS HISTÓRICO

De acuerdo con el Archivo Histórico de Localidades Geoestadísticas de INEGI, San Juan Ixhuatepec tenía una categorización de Pueblo hasta el censo de 1970 a partir del cual comienza a considerarse como colonia.

Con base en los resultados mostrados en la Tabla 37, es en el censo de 1970 en el cual la población presenta un aumento en el número de habitantes.

En el Archivo Histórico de Localidades Geoestadísticas de INEGI únicamente se presentan datos hasta el año 1970, a partir de entonces y hasta el censo de 2010 se cuenta con información a nivel municipal.

Tabla 37. Habitantes por censo en San Juan Ixhuatepec

Censo	Habitantes
1900	945
1910	828
1921	924
1930	1 033
1940	1 018
1950	1 629
1960	3 129
1970	15 713

Fuente: Archivo histórico de Localidades Geoestadísticas INEGI

Según datos del Censo de población actual de INEGI (2010), la Colonia San Juan Ixhuatepec está compuesta por la totalidad de 6 Áreas Geoestadísticas Básica (AGEB) y por 52 manzanas como se muestra en la Tabla 38.

Tabla 38. Población actual en San Juan Ixhuatepec

AGEB	Población
1510400011419	7137
1510400011902	752
1510400011917	1 167
1510400011921	1 563
1510400012154	1 799
1510400012173	2 752
Total	15 170

Fuente: INEGI <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/>

CAPÍTULO 6. RESULTADOS



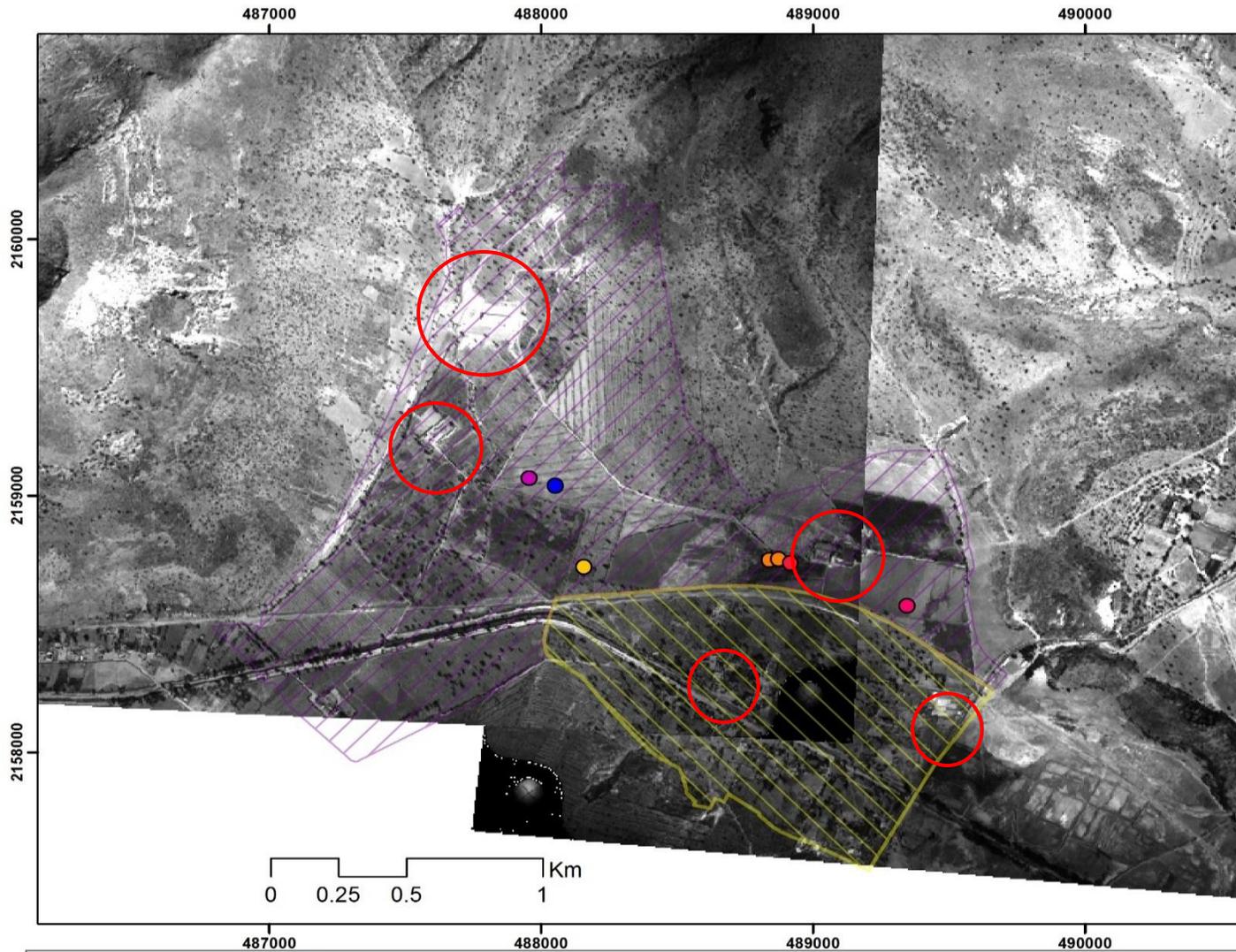
Se buscaron en distintas bases de datos fotos aéreas históricas para tener un panorama del desarrollo de la zona habitacional, así como de la zona industrial. Se compraron fotos a la Fundación ICA, A.C. de los años 1953, 1966 y 1972 encontradas en el Fondo Aerofotográfico Vertical, así como una imagen proporcionado por INEGI del año 2007.

Las fotos proporcionadas se geoposicionaron por medio de ARCGIS y se sobrepusieron los polígonos utilizados para delimitar la Colonia San Juan Ixhuatepec y el Fraccionamiento Industrial La Presa.

Se procedió a revisar las imágenes con el propósito de examinar la presencia de asentamientos industriales o habitacionales.

En las Figuras 20-23 se muestran de manera gráfica el resultado obtenido por la fotointerpretación realizada en el área de estudio.

CAPÍTULO 6. RESULTADOS



Simbología

- Fraccionamiento Industrial La Presa
- Colonia San Juan Ixhuatpec

Gasera

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6

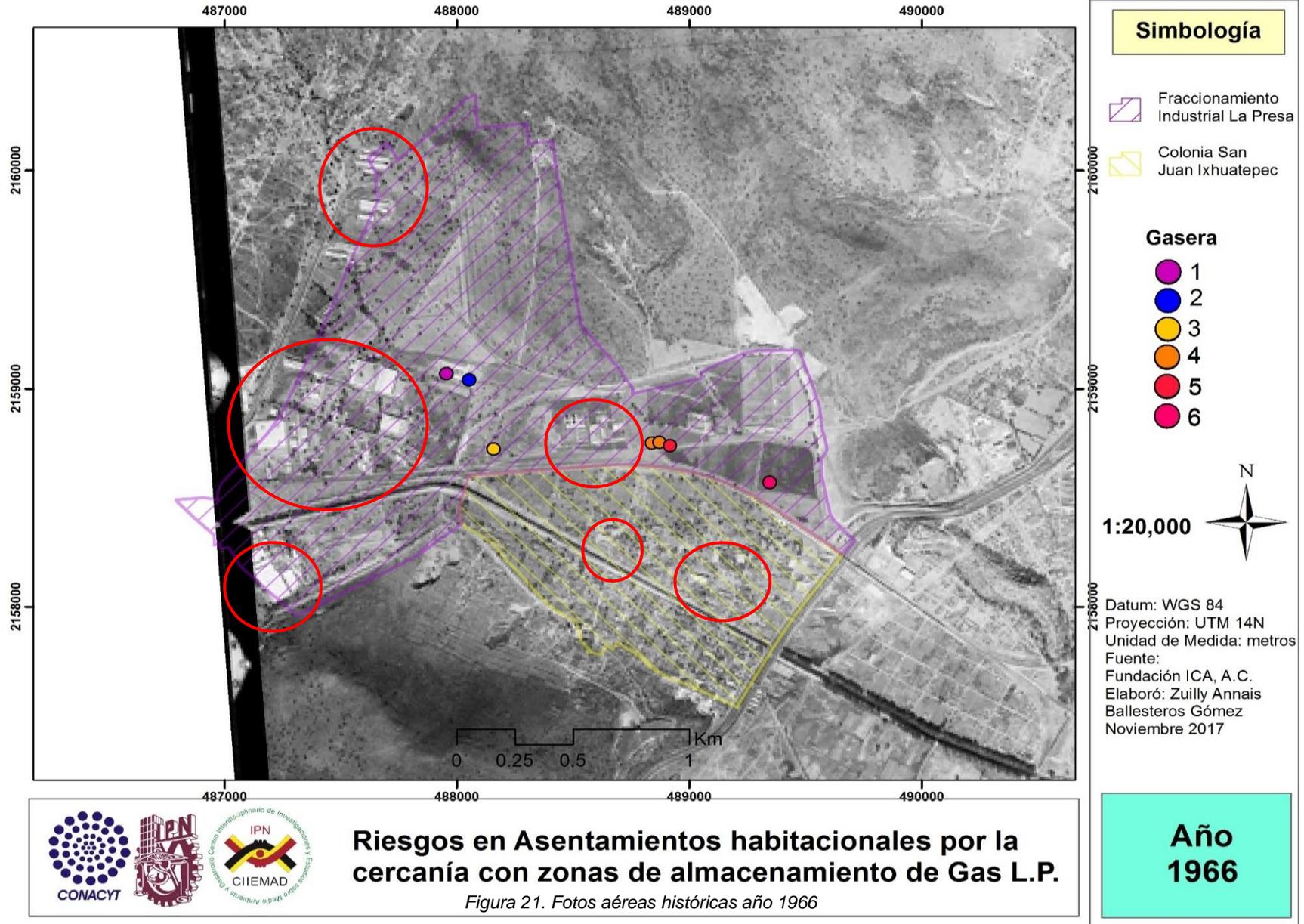
1:20,000

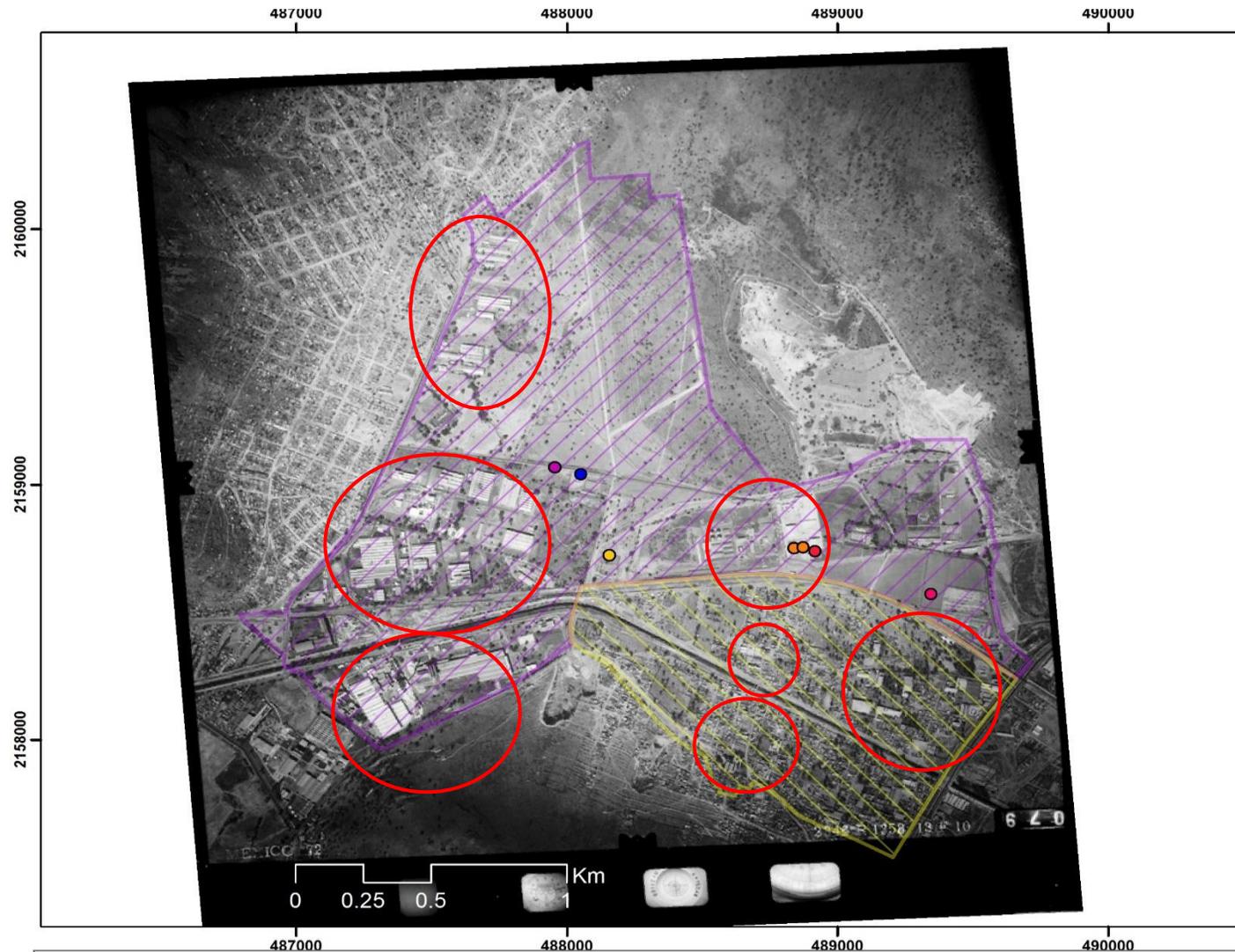
Datum: WGS 84
 Proyección: UTM 14N
 Unidad de Medida: metros
 Fuente:
 Fundación ICA, A.C.
 Elaboró: Zuilly Annais
 Ballesteros Gómez
 Noviembre 2017



Riesgos en Asentamientos habitacionales por la cercanía con zonas de almacenamiento de Gas L.P.
 Figura 20. Fotos aéreas históricas año 1953

Año 1953





Simbología

- Fraccionamiento Industrial La Presa
- Colonia San Juan Ixhuatepec

Gasera

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6

1:20,000

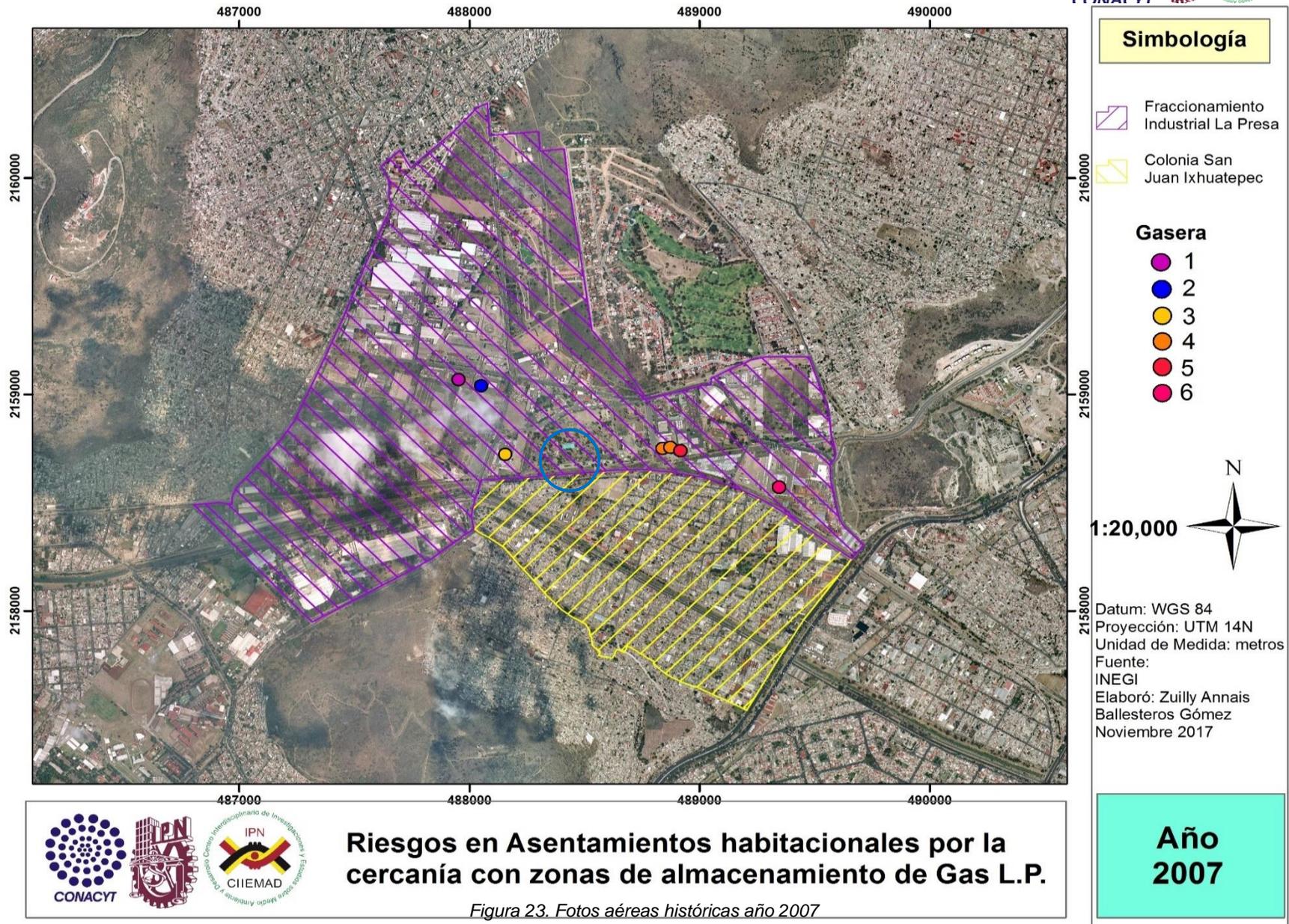
Datum: WGS 84
 Proyección: UTM 14N
 Unidad de Medida: metros
 Fuente:
 Fundación ICA, A.C.
 Elaboró: Zuilly Annais
 Ballesteros Gómez
 Noviembre 2017

**Año
1972**

Riesgos en Asentamientos habitacionales por la cercanía con zonas de almacenamiento de Gas L.P.

Figura 22. Fotos aéreas históricas año 1972

CAPÍTULO 6. RESULTADOS



Riesgos en Asentamientos habitacionales por la cercanía con zonas de almacenamiento de Gas L.P.

Figura 23. Fotos aéreas históricas año 2007

Año 2007

A continuación, se presenta la información más relevante de las entrevistas realizadas a los actores principales. Los representantes por parte de la autoridad competente son Protección Civil del municipio de Tlalnepantla de Baz, por parte de las gaseras y la población los representantes solicitaron que se considerará anónima su participación.

RESULTADOS ENTREVISTA A PROTECCIÓN CIVIL

El día 09 de agosto de 2017 se realizó una entrevista al C. Joel Álvarez García quien es el Coordinador General de Protección Civil del municipio de Tlalnepantla de Baz en el Estado de México. En breve se presenta la información más relevante de dicha entrevista.

A lo que a Protección Civil se refiere las gaseras son de competencia estatal, pero el municipio tiene cierta injerencia, generan visitas para observar y verificar que se implementen medidas de seguridad.

Las gaseras han implementado sistemas de seguridad actualizados y sofisticados, como lo son sistemas de rociadores, paros de energía eléctrica, paros de válvulas de cierre, etc.

Protección Civil está en comunicación permanente con las empresas de la zona.

Por normatividad las empresas deberán contar con brigadas internas de evacuación, primeros auxilios, prevención y combate de incendios, teórica y práctica, así como uso de sistemas contra incendios.

En la zona industrial hay una estación de bomberos con 8 trabajadores por turno más personal de protección civil son 14 personas en total que atenderían de manera inmediata un evento (en la zona). Para emergencia mayor se cuenta de 40 a 50 elementos por turno y con las instancias de la administración municipal.

A las personas asentadas a los alrededores se les da capacitación mediante folletos con información en el polígono de seguridad en áreas consideradas de amortiguamiento. Las empresas en la zona tienen una postura de que llegaron antes que la población en esta área.

Se considera que los riesgos presentes son “controlados”, puesto que se manejan estándares de seguridad, se da seriedad y se evitan errores humanos. En la zona han ocurrido incidentes menores.

El Sistema municipal de Protección Civil está conformado por 107 bomberos divididos en 3 turnos, 10 personas en área operativa, personal de prevención de riesgos son 24 paramédicos en 3 turnos. En total son alrededor de 200 personas.

CAPÍTULO 6. RESULTADOS



Con respecto a unidades se tienen 36 de las cuales algunas son pick ups, 5 motobombas, pipas, 3 medias bombas, 9 ambulancias, así como vehículos ligeros.

El equipo de bomberos consta de pantalón, chaquetón pantalonera y casco. Dependiendo del uso se les cambia cada 3 o 4 años.

El protocolo en caso de emergencia química consiste en que se activan las brigadas internas de las empresas de la zona, personal de protección civil en el área actúa y dependiendo de eso se evalúa la situación y se envían los recursos. La evacuación de personas se hace de manera preventiva de una milla a la redonda si se trata de las gaseras, debido a que pueden afectar factores externos.

Protección Civil no tiene equipos para medir la dirección y velocidad del viento; en caso de emergencia son usados los de las empresas.

Protección Civil tiene un manual de procedimientos para emergencias en la zona oriente. En el cual están trazadas las rutas de evacuación, refugios temporales y documentos internos. Únicamente dan esta información a la población de la zona, no es un documento de acceso público.

En caso de evento mayor las personas afectadas serían trasladadas (dependiendo de la condición en la que se encuentren) a alguno de los siguientes hospitales: Magdalena de las Salinas, Primero de octubre, Hospital de Traumatología de Lomas Verdes, Hospital de Ceylán y Cruz Roja.

En un evento mayor hay participación de instancias federales como lo es el ejército.

Las estaciones de bomberos más cercanas que darían apoyo en caso de emergencia son las de la Delegación Gustavo A. Madero, Ecatepec, Atizapán, Naucalpan, hay buena comunicación con ellas.

En el municipio de Tlalnepantla si hay abasto de agua se tienen pozos y vasos de agua tratada. Se utiliza agua tratada en eventos de este tipo.

En comparación entre transporte y almacenamiento de gas L.P., el transporte es el que representa más riesgo, debido a que hay varios factores externos que pueden generar alguna situación no controlable.

El Grupo de Ayuda Mutua (PAMI) lo integran algunas empresas de la zona oriente, se reúnen cada mes para intercambiar información y capacitación, se cuenta con su propia brigada y equipo. Protección Civil está en comunicación constante con el grupo.

El efecto domino podría generarse en la zona por el hecho de la colindancia de las empresas, no se puede descartar.

El Grupo PAMI realiza simulacros, en los cuales invita a Protección Civil a evaluar, como observadores, hacer lineamientos de mejora, críticas constructivas o motivación. Depende del tipo de empresa se realizan los simulacros. El año anterior se realizó un macro simulacro en una gasera, en el cual invitaron a autoridades estatales y federales, y la hipótesis de dicho evento fue relacionada al giro.

Hay participación de la población en los simulacros porque saben que están en una zona de riesgo. Protección Civil les informa las cosas de manera real a las personas. Actualmente la situación está en calma, las empresas invierten en su seguridad y la autoridad está al pendiente.

Actualmente ya no hay rechazo por parte de las personas hacia las gaseras. La gente no es muy participativa, no hay mucho interés para la capacitación.

Falta mucho por hacer, no se puede caer en un área de confort o en excesos de confianza puesto que son productos químicos, productos explosivos falta ver en que se puede mejorar.

Así pues, el Coordinador dejó en claro que hay un plan de emergencia y que se están en constante comunicación con las empresas de la zona.

RESULTADOS ENTREVISTA A POBLACIÓN

El 28 de febrero de 2018 realice una entrevista a un par de personas habitantes de la colonia San Juan Ixhuatepec, en la cual indican que en su hogar son 8 personas de las cuales 3 llevan el sustento al hogar. Lleva aproximadamente viviendo 37 años en la zona.

Dentro de las preguntas que se incluyen en el cuestionario es si se sientes seguros viviendo en su hogar y su respuesta fue no, debido a la delincuencia a la inseguridad y a la explosión.

Con respecto a saber si hay zona industrial cercana a donde viven indicó que si está enterada y que el giro es de gaseras. Sabe de accidentes que han pasado, indicó el accidente del 19 de noviembre de 1984. De igual manera dejó muy en claro que ni las autoridades ni las empresas se han acercado a ellos para algún tipo de capacitación o participación en simulacros, indicando que “ya paso mucho tiempo”.

Se le cuestiono si habían estado en el accidente y su respuesta fue afirmativa pero no fueron afectados directamente.

RESULTADOS ENTREVISTA GASERA

De acuerdo con información proporcionada por parte de un representante de una gasera tenemos que en esta se cuenta con distintos instrumentos de seguridad como lo son válvulas, interruptores, sensores, etc. y equipos para la atención de emergencias como lo son extintores, sistema contra incendios a base agua por aspersión, las instalaciones eléctricas, accesorios y equipos están protegidos con material a prueba de explosiones, detectores de humo, equipo de protección personal, trajes de bombero, traje de acercamiento directo al fuego, sistema de alarma general.

Se cuenta con los siguientes procedimientos:

- ✓ Escape de gas vapor no localizado
- ✓ Escape de gas líquido sin control en bomba de trasiego
- ✓ Fuego en línea de gas vapor
- ✓ Fuego en vehículos junto a la plataforma
- ✓ Fuego en vehículo en estacionamiento
- ✓ Fuego en auto tanque conectado en las líneas
- ✓ Fuego en el transporte conectado en las líneas
- ✓ Fuego en la plataforma
- ✓ Explosión del transformador
- ✓ Fuego en oficina
- ✓ Procedimientos de emergencia durante el llenado
- ✓ Fuga de gas sin fuego
- ✓ Fuga de gas encendido (incendio)

Los cursos de capacitación que se le dan al personal son:

- ✓ Información de las propiedades y recomendaciones de manejo de gas L.P.
- ✓ Ubicación y uso de equipos de control y contención de fugas y derrames
- ✓ Ubicación y uso de equipo contra incendios
- ✓ Señalamientos
- ✓ Sistemas de alarma
- ✓ Uso y mantenimiento de equipo de protección personal
- ✓ Uso del equipo de primeros auxilios
- ✓ Higiene y seguridad
- ✓ Relaciones humanas

CAPÍTULO 6. RESULTADOS



Los simulacros que se realizan por lo menos dos veces al año son los siguientes:

- ✓ Evacuación general de la planta
- ✓ Fugas: en tomas de suministro y en zonas de almacenamiento
- ✓ Incendio
- Ocasionado por una nube de emisión continua con fuente de ignición
- Ocasionado por una nube flamable
- Incendio real de un cilindro de 45 kg en zona de alto riesgo
 - ✓ Explosión
- De un tanque
- Múltiple de varios tanques
 - ✓ Evento natural (sismo)
 - ✓ Rescate de personal en zona de alto riesgo y/o oficinas

El representante de la gasera nos indicó que cuando se realiza algún tipo de simulacro se le invita a la población circundante, pero no hay participación por parte de ellos.

CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN

Como se menciona en el objetivo general, el presente trabajo tiene como finalidad evaluar los Riesgos Ambientales potenciales y no evidenciar o culpar a alguno de los actores principales en caso de la ocurrencia de algún evento de magnitudes mayores.

Es un hecho que el crecimiento de la población conlleva a la necesidad de uso de espacios y consumo de servicios para el desarrollo de esta. Así pues, es necesario el uso de sustancias que permitan dicho desarrollo, en el caso específico del uso de gas L.P. el sector más demanda su consumo es el sector residencial.

Dimensionar por medio de simuladores un evento de gran magnitud permitirá tener un conocimiento del área posible a ser afectada y así se puedan tomar decisiones a través de implementación de medidas preventivas o correctivas necesarias por los sujetos involucrados.

Como se ha mencionado durante la introducción, un conjunto BLEVE-Bola de fuego es una de las consecuencias más catastróficas, pero con menos probabilidades de ocurrencia. Las posibles consecuencias de este tipo de eventos son: radiación térmica, ondas de sobrepresión y expulsión de fragmentos.

Los accidentes pueden generarse por distintas causas, en muchas de las cuales no se puede tener control sobre ellas. Por ejemplo, un sismo, un relámpago, algún descuido por parte del personal, falta de mantenimiento, fallo en instrumentación, etc.

Cabe señalar que los datos de distancias obtenidos no son precisos, dependen de muchas variables que no son consideradas en los modelos de simulación que existen, en la realidad es muy variable.

El escenario para la simulación que se consideró fue un conjunto BLEVE- Bola de fuego, teniendo en cuenta que el tanque se encuentra al 85% de su capacidad (200 m³- 200 000 l o 250 m³ – 250 000 l), densidad del gas L.P. 0.6 kg/l, tiempos de exposición de 60 s, humedad relativa de 59%,

dirección de vientos dominantes de Noreste (NE), velocidad promedio del viento 2.7 m/s y temperatura promedio de 25°C.

Cabe mencionar que, para los datos de humedad relativa, dirección de vientos dominantes, velocidad promedio del viento y temperatura promedio se tomaron los datos que se reportan en el Programa de Ayuda Mutua San Juanico. Se ingresó una solicitud de información a la autoridad por medio del sistema INFOMEX para conocer estos datos en la zona a lo que indicaron que no hay una estación cercana y la que había cerró en el año 1995 y no contaba con instrumentación para medir dirección, intensidad y velocidad del viento.

Se diseñaron 16 escenarios en los cuales varia la cantidad (volumen de tanque) a simular y el tiempo de exposición, se considera de 1 min (60 s) debido a que a 37.5 kW/m² equivale al 100% de mortalidad de acuerdo con la tabla de criterios considerando radiación térmica. El dato de 40 s se considera puesto que la energía térmica de una BLEVE-Bola de fuego es liberada en un período corto de tiempo según Casal (Casal et al., 2001).

Con los datos obtenidos se decidió tomar los escenarios 2 (250 m³) y 10 (200 m³) y con base en los criterios de radiación térmica establecidos en la Tabla 18.

En el escenario 2 se considera un tanque de almacenamiento de 250 000 l (250 m³) de capacidad, lleno al 85% y un tiempo de exposición de 60 s. Los resultados obtenidos son radio de 1 293.43 m para una radiación térmica de 1.4 kW/m², radio de 822.84 m para 4 kW/m², radio de 509.95 m para 12.5 kW/m² y 320.03 m para 37.5 kW/m². Con diámetro de bola de fuego de 291.92 m y duración de 18.45 s. Las gaseras con tanques de esta capacidad son la 1, 3, 4 y 6.

En el escenario 10 se considera un tanque de almacenamiento de 200 000 l (200 m³) de capacidad, lleno al 85% y un tiempo de exposición de 60 s. Los resultados obtenidos son radio de 1 189.25 m para una radiación térmica de 1.4 kW/m², radio de 756.77 m para 4 kW/m², radio de 469.08 m para 12.5 kW/m² y 294.24 m para 37.5 kW/m². Con diámetro de bola de fuego de 271 m y duración de 17.77 s. Las gaseras con tanques de esta capacidad son la 2, 4 y 5.

Tabla 39. Resultados de escenarios elegidos

Radios de afectación (m)	Escenario	Radiación térmica (kW/m ²)				Diámetro de bola de fuego (m)	Tiempo de duración bola de fuego (s)
		1.4	4	12.5	37.5		
	2	1 293.43	822.84	509.95	320.03	291.92	18.45
10	1 189.25	756.77	469.08	294.24	271.00	17.77	

En las Figuras de la 12 a la 18 se presenta de manera gráfica los resultados obtenidos por gasera y las posibles afectaciones por el radio de las radiaciones térmicas.

Tabla 40. Valores utilizados para representación gráfica

Radios de afectación (m)	Gasera	Radiación térmica (kW/m ²)				Volumen del tanque (m ³)
		1.4	4	12.5	37.5	
1	1 375.01	874.56	541.95	340.21	250	
2	1 264.25	804.34	498.51	312.81	200	
3	1 375.01	874.56	541.95	340.21	250	
4	1 264.25	804.34	498.51	312.81	200	
4	1 375.01	874.56	541.95	340.21	250	
5	1 264.25	804.34	498.51	312.81	200	
6	1 375.01	874.56	541.95	340.21	250	

En la Tabla 18 se presenta un resumen de las consecuencias a equipo, materiales y personas que se podrían ocasionar como resultado de un evento BLEVE-Bola de Fuego.

El valor de mayor relevancia es el de 37.5 kW/m² que para tanques de 250 m³ es de 340.21 m y para tanques de 200 m³ es de 312.81 m si alguna persona se encuentra en esta zona por más de 20 s, la radiación a la cual estará expuesta sería tal que le causaría quemaduras en el cuerpo que le provocarían la muerte.

El valor de 12.5 kW/m² que para tanques de 250 m³ es de 509.95 m y para tanques de 200 m³ es de 469.08 indica que, si una persona está expuesta por más de 60 s tiene el 1 % de probabilidad de muerte, pero si está expuesta por más de 10 s presentará al menos quemaduras de primer grado.

Para el caso de 4 kW/m² que para tanques de 250 m³ es de 822.84 m y para tanques de 200 m³ es de 756.77 (este valor se considera como zona de riesgo por SEMARNAT en las guías de Evaluación de Riesgos), una exposición mayor a 20 s podría causar quemaduras de primer grado.

El criterio de 1.4 kW/m^2 que para tanques de 250 m^3 es de $1\ 293.43 \text{ m}$ y para tanques de 200 m^3 es de $1\ 189.25 \text{ m}$ (este valor es tomado como zona de salvaguarda por SEMARNAT en las guías de Evaluación de Riesgos), se considera como el máximo soportable sin ropa de protección.

Con referencia en la Figura 19 se tomaron en cuenta todos los radios posibles de afectación que generarían las 6 gaseras en la zona y se superpusieron en una capa de información de AGEB para obtener un aproximado de número de personas que podrían salir afectadas. Estos datos se reflejan en la Tabla 19, en la que nos indica que aproximadamente 96 736 personas podrían ser afectadas por una radiación térmica de 1.4 kW/m^2 , 34 698 personas por una radiación de 4 kW/m^2 , 11 352 personas por radiación térmica de 12.5 kW/m^2 y 5 697 personas por radiación de 37.5 kW/m^2 . Cabe señalar que estos datos no solo incluyen población de la colonia en estudio, sino de las colonias colindantes que podrían salir afectadas, y tomando en cuenta que el evento a presentarse es causado por un efecto domino que incluya a *todas* las gaseras y que es muy poco probable que ocurra, pero que puede servir para efectos de tener un área para evacuación de personas.

En la Tabla 20 se presentan datos de números de personas, AGEB y manzanas expuestas a sufrir algún efecto por la radiación térmica del evento simulado por gasera, los datos de personas que se tienen no solo incluyen a las que se encuentran expuestas en la colonia de estudio, sino a los alrededores también. De acuerdo con los datos presentados las gaseras que podrían exponer en mayor medida a la población si se presenta un conjunto BLEVE-Bola de Fuego son la 4, 5 y 6.

Por medio de la metodología PROBIT, se puede calcular el porcentaje de personas a sufrir alguna lesión del total de estas que está expuesta, en este caso, a la radiación térmica.

Dependiendo del valor de radiación térmica y de la consecuencia (quemaduras), los porcentajes van del 100% de quemaduras mortales a una exposición de 37.5 kW/m^2 a 0% en cualquier tipo de quemaduras en exposición a 1.4 kW/m^2 , tal y como lo indican las Tablas 34 y 35.

Otra de las posibles consecuencias que trae consigo el conjunto BLEVE-Bola de Fuego son los efectos mecánicos que se traducen a la onda de sobrepresión generando daños a pulmones u oídos de las personas o daños a equipos e instalaciones.

Para el caso de consecuencias por efectos mecánicos se obtuvieron resultados utilizando 3 métodos, el primero fue una estimación de ΔP usando la energía de sobrecalentamiento del líquido, por medio de proceso isentrópico y proceso irreversible, el segundo una estimación de ΔP por curvas características y el tercero una determinación de la sobrepresión usando una aproximación

polinomial. De todos estos el más apegado a la realidad es la estimación de ΔP usando la energía de sobrecalentamiento del líquido de un proceso irreversible.

De acuerdo con los resultados obtenidos se tiene que si se considera un proceso isentrópico a una distancia de 100 m (que es la distancia mínima permitida a cualquier casa habitación) las consecuencias hacia las personas serían lesiones por escombros o por impactarse con objetos. Con este mismo método el 100% de mortalidad estaría a distancias de entre 18 y 20 m y la destrucción de edificios entre 25 y 27 m.

Para el proceso irreversible se tiene que a los 100 m las consecuencias a las personas serían lesiones por fragmentos y el 100% de mortalidad a personas sería entre los 13 y 14 m, la probable destrucción de edificios sería entre 17 y 19 m.

El método de ΔP por curvas características a los 100 m las consecuencias serían ligeras lesiones por fragmentos. Para el uso de esta metodología es necesario el uso de una gráfica (Figura 11), en la cual la mínima distancia proyectada es de 25 m así que no es posible determinar la distancia exacta para el 100% de muertes o destrucción de edificios.

Con respecto al método de aproximación polinomial los resultados indican que a 100 m las lesiones podrían ser ligeras debido a los fragmentos, el 100 % de mortalidad estaría entre 16 y 18 m y la destrucción de edificios entre 22 y 24 m.

En las Tablas 30, 31, 32 y 33 se presenta una comparativa de los resultados entre los 3 métodos utilizados, teniendo en cuenta los criterios de distancia y sobrepresión.

Aunque no es fácil determinar el tamaño, dirección, forma, velocidad, comportamiento y número de los fragmentos a generarse durante el evento, es posible determinar un radio de afectación de dichos fragmentos que como lo indica la Tabla 36 es de 1 506.6 m para tanques de 250 m³ y de 1 473.37 para tanques de 200 m³.

La razón del análisis histórico por medio de fotos aéreas es para tener una idea del desarrollo que se presentó en esta zona. Dentro de bibliografía que pude consultar referente al accidente ocurrido se mencionaba la discusión que se tenía de quien se había establecido primero en la zona, si fue la población o la industria.

Con respecto a la información histórica se tienen datos disponibles específicos para la colonia San Juan Ixhuatepec a partir del año 1970 pero se sabe que la Parroquia San Juan Bautista fue construida en el año 1616, por lo tanto, se asume que desde entonces ya había personas en esta

área. El crecimiento industrial en el municipio de Tlalnepantla de Baz comienza en los años 50's y con información proporcionada vía oral se sabe que las gaseras en el Fraccionamiento Industrial se construyen en los años 60's. Durante mi visita al archivo histórico de Tlalnepantla de Baz, pude observar un plano del municipio de los años 70's en el cual se considera a la colonia de San Juan Ixhuatepec como un asentamiento irregular (no me permitieron la toma de fotografías en el lugar).

En la Figura 20, la cual pertenece al año 1953 se puede observar que comienza el desarrollo de la zona industrial pero no en los puntos en los que se encuentran las gaseras, en general parece área de cultivos. Con respecto a la colonia la imagen permite observar que hay algún tipo de desarrollo habitacional.

En la Figura 21 que muestra el año 1966, se ve el crecimiento de la zona industrial, lo que destaca en esta foto es la instalación de PEMEX en la cual ocurrió el accidente del 19 de noviembre de 1984. Dentro de la colonia no se observan cambios significativos, lo que se puede observar es el desarrollo de vías de comunicación para el transporte.

Para el año 1972 la Figura 22 nos muestra que el Fraccionamiento industrial ya se encuentra desarrollado. Con respecto a las gaseras, se observa la instalación de PEMEX y al menos lo que en el presente proyecto consideramos como gaseras 4 y 5. En esta figura se observa que la colonia se desarrolló, es posible observar las calles, así como un desarrollo habitacional. De igual manera lo que destaca en esta imagen es el desarrollo de la colonia Lázaro Cárdenas al noroeste de la figura.

Para la Figura 23 que representa el año 2007, se puede observar el completo desarrollo de la zona industrial, con la excepción de que ya no se encuentra la instalación de PEMEX (se convirtió en un parque). En la colonia se puede observar que hay un completo desarrollo de esta, tal vez con excepción de la zona más afectada durante el accidente y que actualmente son canchas para realizar deportes.

De acuerdo con información del Decreto 24 abril de 1991 del Estado de México se establece el polígono de seguridad de la zona en estudio, también indica que como medida preventiva se tiene contemplado disminuir la densidad de población en esta zona, así como el cambio de uso de suelo en las manzanas colindantes. Así como ampliación de las avenidas circundantes al polígono Av. San José y Av. La Presa. Las fotos áreas históricas nos permiten observar que estas medidas que el gobierno indico se realizarían no se han llevado a cabo.

El objetivo de realizar las entrevistas cualitativas a actores principales era conocer las medidas de seguridad o plan de acción en caso de accidente que estos tienen implementados, sobre todo con el antecedente que se tiene en la zona.

De acuerdo con información proporcionada por el Coordinador General de Protección Civil del municipio de Tlalnepantla de Baz, se cuenta con la infraestructura, equipo y personal para responder al llamado en caso de emergencia y en dado caso que sobrepase su capacidad, se tiene contacto con Protección Civil de municipios y delegación cercanos.

Tanto las gaseras como la autoridad coinciden en que tienen una comunicación constante y participan en conjunto en la realización de simulacros y que tratan de involucrar a las personas que habitan en las cercanías, pero que su participación es nula. Sin embargo, por parte de la población indicaron que no se les invita a participar en este tipo de eventos.

Cuando llevé a cabo la entrevista con representantes de la población, fue evidente su molestia al tocar el tema de la zona industrial y el accidente.

De acuerdo con el Comité Nacional de Investigación de los Estados Unidos, la Comunicación de Riesgos se define como “la trasmisión de información planificada y sensible de acuerdo a las necesidades de la comunidad por medio de mensajes claros, fidedignos y oportunos, que motiven a la población a disminuir la ansiedad, modificar actitudes, prepararse para eventualidades de emergencia, y proporcionar una percepción objetiva que les genere confianza, les lleve a la acción, reduzca el riesgo y mitigue el peligro”, herramienta que debería ponerse en práctica en zonas de alto riesgo como lo es San Juan Ixhuatepec.

Esta herramienta sugiere la constante comunicación de los actores involucrados para lograr una estrategia efectiva en la disminución de los riesgos. Capacitar a la población para que sepan cómo actuar antes, durante y después de una emergencia sería de mucha ayuda en caso de que un evento de cualquier magnitud se presente.

En casos de accidentes siempre se presentan noticias falsas y alarmantes que crean caos colectivo, si las personas son informadas acerca de que hacer o que medios consultar para que tengan información fidedigna esta histeria podría generarse en menor medida. Se necesita de la participación de todos los involucrados para que esto resulte.

El pasado 19 de noviembre de 2018 se llevó a cabo, con motivo del aniversario luctuoso del accidente, una Comisión especial de Protección Civil en San Juan Ixhuatepec. Las personas que participaron en dicha comisión fueron Raciél Pérez el candidato electo a la presidencia municipal de Tlalnepantla de Baz, Joel Álvarez García coordinador de Protección Civil de Tlalnepantla de Baz, Severiano Osorio representante de la Unión de Técnicos y Profesionistas Petroleros y Arturo Vilchis representante de Protección Civil en el Estado de México.

CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN



Destacan algunos comentarios realizados en esta comisión. Por una parte, el candidato electo indica que está al tanto de la situación en la zona que a 34 años de lo ocurrido las vialidades que funcionarían como rutas de evacuación no son las óptimas, puesto que son utilizadas por intereses privados como lo es el comercio ambulante.

El Coordinador de Protección Civil municipal habla acerca de la capacitación que se da a las personas que viven a los alrededores, las inspecciones que realizan a las empresas para verificar que cuenten con las medidas mínimas de seguridad, así como procedimientos en caso de emergencia. Indica que se pretende colocar un sistema de alertamiento que permita la comunicación en caso de emergencia entre las empresas y la población, así como una red de hidrantes dentro de los polígonos de seguridad.

El representante de la Unión Nacional de Técnicos y Profesionistas Petroleros habló acerca de la falta de mantenimiento a los ductos desde 1982 en las instalaciones de PEMEX, lo cual fue propicio para que el accidente ocurriera y que por esta razón en los últimos años se han generado más accidentes dentro de otras instalaciones de PEMEX.

Por parte de la población formaron una organización llamada Unión Popular Ixhuatepec (UPI) la cual demanda la salida de las gaseras de la zona, el cumplimiento del polígono de seguridad, la regulación en las operaciones de las gaseras y la construcción de vías de evacuación eficientes.

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES

A continuación, presento algunas conclusiones a las que se pudieron llegar con el desarrollo del presente trabajo.

Las empresas y las autoridades tienen implementados programas preventivos para evitar que algún evento de gran magnitud se presente, pero no se ha generado alguno con la magnitud del ocurrido.

Hace falta tener equipos de monitoreo de condiciones climatológicas como lo son: dirección y velocidad del viento, humedad relativa y temperatura para generar una base de datos y así conocer los valores promedios y los valores extremos, ya que con esta información se podrían generar distintos escenarios.

Los resultados obtenidos de los efectos provocados por el conjunto BLEVE-Bola de fuego no pueden ser considerados como valores exactos y absolutos, pero sirven para tener una aproximación del área expuesta y se recomienda sea considerada en caso de evacuación de la zona.

De acuerdo con los resultados obtenidos, debería tenerse una zona de salvaguarda de al menos 300 m a la redonda de cada una de las gaseras, para que así la menor cantidad de personas resultara con consecuencias. La distancia mínima de acuerdo con la legislación es de 100 m. Las autoridades deben generar controles o políticas públicas para que las zonas de salvaguarda no presenten asentamientos irregulares.

El gobierno debería de controlar el crecimiento de zonas habitacionales en los alrededores de zonas industriales de alto riesgo, implementar una zona de salvaguarda que se base en estudios de simulación. Por ejemplo, al noreste de la zona de estudio se encuentra actualmente el desarrollo de un complejo habitacional, lo que implicaría en caso de un evento, consecuencias indirectas a la población por no ubicarse tan cercano, pero se tendría que evacuar a dicha población lo cual requiere de vías de comunicación y recursos.

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES



La investigación permitió conocer que, si bien es un área de la que muchas personas lo tienen presente debido al accidente ocurrido en 1984 y en la cual ya no han ocurrido accidentes con pérdidas humanas, se deben tener controles estrictos de seguridad. Así como establecer la Comunicación de Riesgos por parte de representantes de la zona industrial y a través de Protección Civil, realizar capacitaciones y charlas informativas a la población de la zona.

El desarrollo de los asentamientos en la zona de estudios no fue planeado y es considerado como asentamiento irregular. De acuerdo con el documento Memoria de una emergencia emitido por el Gobierno del Estado de México no debería haber casas al menos de 300 m a la redonda de las gaseras, lo cual, se contrapone con la actual legislación que nos indica una distancia de 100 m. Esto quiere decir que hay falta de vigilancia por parte de las autoridades.

CAPÍTULO 9. BIBLIOGRAFÍA

- Alcántara, M. E., & González, T. (2001). *Modelación de radios de afectación por explosiones en instalaciones de gas* (Versión el). México, D.F.
- Arturson, G. (1987). The tragedy of San Juanico—the most severe LPG disaster in history. *Burns*, 13(2), 87–102. [https://doi.org/10.1016/0305-4179\(87\)90096-9](https://doi.org/10.1016/0305-4179(87)90096-9)
- Barrera, J. (2017). San Juanico, a 33 años de la tragedia todavía huele a gas. Periódico El Universal. 19 de Noviembre de 2017.
- Bernechea, E. (2013). A model for estimating the impact of the domino effect on accident frequencies in quantitative risk assessment of storage facilities.
- Casal, J. (2018). *Evaluation of effects and consequences of major accidents in industrial plants*. Barcelona, España: ELSEVIER. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-63883-0.00001-0>
- Casal, J., Montiel, H., Planas, E., & Vilchez, J. A. (2001). *Análisis de riesgo en instalaciones industriales. Alfaomega. Capítulo* (Vol. 1).
- CENAPRED (2016). Solicitud información.
- CENAPRED (2004). Compendio Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y municipales de peligro y Riesgos.
- CENAPRED (2015). Dirección de Análisis y Gestión de Riesgos. Guía práctica sobre riesgos químicos.
- CENAPRED (2018). Curso masivo abierto en línea, plataforma México X. Comunicación de Riesgos.
- Center for Chemical Process Safety (1994). Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires and BLEVEs. Nueva York, EUA.
- Comisión Reguladora de Energía. (2016). *Permisos Vigentes de Gas L.P.* Recuperado a partir de www.cre.gob.mx/documento/Permisos_vigentes_GLP.xlsx%0A

- Debray, B., & Salvi, O. (s/f). ARAMIS Project : an integrated risk assessment methodology that answers the needs of various stakeholders, *82*(2000), 265–275.
- Environmental Protection Agency. (2018). Risk Management Plan (RMP). Recuperado a partir de <https://www.epa.gov/rmp/risk-management-plan-rmp-rule-overview>
- Enríquez, J., et al. (2015). Análisis de áreas susceptibles a riesgos químicos por gaseras y gasolineras de Cuauhtémoc, Chihuahua. México.
- EPA, & NOAA. (2007). *User's Manual ALOHA*. Washington, EUA.
- Garza, S. (2015). *Análisis de Riesgos/Peligros en los procesos, Parte 1 Metodologías*. Monterrey, Nuevo León.
- Georgiadou, P. Papazoglou, C. et al. (2007). Modeling emergency evacuation for major hazard industrial.
- Gobierno del Estado de México (1985). San Juan Ixhuatepec: Memoria de una emergencia.
- Gobierno del Estado de México. (1991). Decreto número 18, miércoles 24 de abril de 1991. Estado de México. México.
- Gonzales, X., & Marey, M. (2004). Fotointerpretación de los usos de suelo, 25.
- Grupo PAMI SJI. (2016). *Programa de Ayuda Mutua Industrial San Juan Ixhuatepec, A.C.*
- INEGI. (2010). Censo de Población y Vivienda. Recuperado a partir de http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/iter_ageb_manzana_2010.aspx
- INEGI. (2013). Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, México. SCIAN 2013, 588. Recuperado a partir de <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/SCIAN/presentacion.aspx>
- INEGI. (2015). Inventario Nacional de Viviendas 2015. Recuperado el 12 de noviembre de 2016, a partir de <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/inv/default.aspx>
- INEGI. (2017). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. Recuperado a partir de <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/directorio/>
- King, R. (1990). *Safety in the process industries*. Inglaterra: Butterworth- Heinemann.
- Leza, Escriña & Asociados, S. A. (2015). Radiación térmica: su efecto en incendios de líquidos y gases.
- Lopez Atamoros, L. G. (2013). *Propuesta de una metodología de evaluación de riesgo para el transporte de gas licuado de petróleo en una delegación política del Distrito Federal de México*. Universidad Nacional Autónoma de México.

CAPÍTULO 9. BIBLIOGRAFÍA



Ministerio de Trabajo y asuntos sociales España. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2018). NTP 291. Modelos de vulnerabilidad de las personas por accidentes mayores: método PROBIT.

Ministerio de Trabajo y asuntos sociales España. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2018). NTP 293. Explosiones BLEVE (I): evaluación de la radiación térmica.

Ministerio de Trabajo y asuntos sociales España. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2018). NTP 294: Explosiones BLEVE (II): medidas preventivas.

Ministerio de Trabajo y asuntos sociales España. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2018). NTP 326: Radiación térmica en incendios de líquidos y gases.

Municipio de Tlalnepantla de Baz. (2008). *Plan Municipal de Desarrollo Urbano*.

PEMEX (2007). Hoja de Datos de Seguridad Gas Licuado de Petróleo. México.

PEMEX (2018). Hoja de Datos de Seguridad Gas Licuado de Petróleo. México.

Protección Civil Tlalnepantla de Baz. (2016). Programa municipal de Protección Civil (2016-2018). México.

Reboratti, C. (2000). La Sociedad y su ambiente. *Ambiente y sociedad: conceptos y relaciones*, 7–27.

Santamaría, J., & Braña, P. (1994). *Análisis y reducción de riesgos en la industria química*. España: MAPFRE.

Secretaría de Economía. (2011). *Norma Mexicana Nmx-R-046-Scfi-2011 Parques Industriales – Especificaciones (Cancela a La Nmx-R-046-Scfi-2005). Industrial Parks - Specifications. Diario Oficial de la Federación*.

Secretaría de Energía. (2015). *Prospectiva de Gas Natural y Gas L.P. 2015-2029*. México, D.F.

Secretaría de Energía. (2016). *Prontuario del sector Energético*.

SEGOB. (1992). Segundo listado de actividades altamente riesgosas. *Diario Oficial de la Federación*.

SEGOB. (2016). Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente. Recuperado el 26 de noviembre de 2016, a partir de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_130516.pdf

SEGOB (2016) Ley de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano. Recuperado el 26 de noviembre de 2016, a partir de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGAHOTDU_281116.pdf

SEGOB. (2014). Norma Oficial Mexicana NOM-010-STPS-2014, Agentes químicos contaminantes del ambiente laboral- Reconocimiento, evaluación y control. Diario Oficial de la Federación.

CAPÍTULO 9. BIBLIOGRAFÍA



SEGOB. (2014). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SESH-2014, Plantas de distribución de Gas L.P. diseño, construcción y condiciones seguras en su operación.

SEGOB. (2015). Norma Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2015, Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo. Diario Oficial de la Federación.

SEMARNAT (2015). Guía para elaboración de *Análisis de riesgo*.

Tlalnepantla de Baz. (2016). *Atlas municipal de riesgos*.

Urbina Soria, J. (1991). Afrontamiento de riesgos ambientales: el caso de San Juanico. *Revista de Psicología Social y Personalidad*, 7, 46–59.

Valverde, C. (2001). La Industria en la Ciudad de México, una aproximación tipológica. Recuperado a partir de <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/SCIAN/presentacion.aspx>

Zhang, H. Zheng, X. (2012). Characteristics of hazardous chemical accidents in China: A statistical investigation. China.

Ciudad de México, 1953, Serie Vertical, Número de Control FAV_00868_01_000_00116, Fondo Aerofotográfico Acervo Histórico Fundación ICA, A.C.

Ciudad de México, 1953, Serie Vertical, Número de Control FAV_00868_01_000_00109, Fondo Aerofotográfico Acervo Histórico Fundación ICA, A.C.

Ciudad de México, 1966, Serie Vertical, Número de Control FAV_01855_01_054_00010, Fondo Aerofotográfico Acervo Histórico Fundación ICA, A.C.

Ciudad de México, 1972, Serie Vertical, Número de Control FAV_02346_01_010_00013, Fondo Aerofotográfico Acervo Histórico Fundación ICA, A.C.

Anexos

Anexo 1.

Resultados de las simulaciones por efectos térmicos

Escenarios que se consideraron para realizar las simulaciones.

Tabla 1. Resumen de factores a considerar para la simulación del evento

Escenario	Capacidad del tanque (l) ¹	Cantidad gas simulada (kg) ²	Tiempo de exposición (s) ³	Humedad relativa (%) ⁴	Vientos dominantes ⁴	Velocidad del viento (m/s) ⁴	Temperatura (°C) ⁴
1	250 000	150 000	60	59	NE	2.7	25
2	250 000	127 500	60	59	NE	2.7	25
3	250 000	150 000	60	59	NE	2.7	25
4	250 000	127 500	60	59	NE	2.7	25
5	250 000	150 000	40	59	NE	2.7	25
6	250 000	127 500	40	59	NE	2.7	25
7	250 000	150 000	40	59	NE	2.7	25
8	250 000	127 500	40	59	NE	2.7	25
9	200 000	120 000	60	59	NE	2.7	25
10	200 000	102 000	60	59	NE	2.7	25
11	200 000	120 000	60	59	NE	2.7	25
12	200 000	102 000	60	59	NE	2.7	25
13	200 000	120 000	40	59	NE	2.7	25
14	200 000	102 000	40	59	NE	2.7	25
15	200 000	120 000	40	59	NE	2.7	25
16	200 000	102 000	40	59	NE	2.7	25

¹Hay dos capacidades de los tanques que se están simulando como ya se ha mencionado anteriormente de 250 000 l (250 m³) y de 200 000 l (200 m³).

²En algunos escenarios se considera que el tanque de almacenamiento se encuentra al 100% de su capacidad y en otros que se encuentra al 85% (cantidad máxima que se debe almacenar por tanque). Esto se puede observar en la columna de Cantidad de gas simulada. Se considera una densidad del gas de 0.6 kg/l de acuerdo con la NOM-004-SEDG-2004, Instalaciones de aprovechamiento de Gas L.P. Diseño y construcción.

³El tiempo de exposición se considera de 1 min (60 s) debido a que a 37.5 kW/m² equivale al 100% de mortalidad de acuerdo con la tabla de criterios considerando radiación térmica. De acuerdo con Casal la energía térmica de una BLEVE – Bola de Fuego es liberada en un período corto de tiempo equivalente a 40 s (Casal et al., 2001).

⁴La humedad relativa, dirección de vientos dominantes, velocidad del viento y temperatura se tomaron de los valores que reportan en el PAMI San Juanico (Grupo PAMI SJI, 2016).

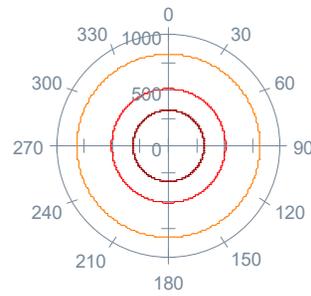
En los escenarios 1, 2, 5, 6, 9, 10, 13 y 14 se considera en el simulador como zona industrial y en los escenarios 3, 4, 7, 8, 11, 12, 15 y 16 como zona urbana, no hay distinción en los resultados entre ambas zonas.



Modelo de radiación térmica por una explosión de vapor en expansión por líquido en ebullición (BLEVE)
Gráfica de distancias de afectación

TÍTULO DE LA MODELACIÓN		
Simulación 2 San Juan Ixhuatepec		
DESCRIPCIÓN		
Se consideran un tanque de almacenamiento de gas L.P. con capacidad de 250 000 l al 100% de agua cilíndrico horizontal. Se considera que el tanque está al 85% de su capacidad.		
Densidad del gas L.P. 0.6 kg/l		
Cantidad en kg 127 500 kg		
Tiempo de exposición 60 s		
Humedad Relativa 59%		
Vientos dominantes NE		
Velocidad del viento 2.7 m/s		
DATOS DE LA SUSTANCIA		
Nombre	GAS LICUADO DE PETRÓLEO (LPG (Liquefied Petroleum Gas))	Sinónimos
No. CAS	68476-85-7	GAS LP
Nombre CAS		
Nombre IUPAC		L.P.G.
Familia	()	
Subfamilia	()	
Fórmula		
Estructura		
PARÁMETROS DE ENTRADA		
Calor de combustión		46026.00 kJ/kg
Masa del combustible		127500.00 kg
Fracción radiante		0.4
Tiempo de exposición (t)		60.00 s
Humedad relativa		59.0 %
Temperatura		298.2 K (25.0 °C)
CARACTERÍSTICAS DE LA BOLA DE FUEGO		
Diámetro de la bola de fuego [Dmax=5.8M^(1/3)]		291.92 m
Altura al centro de la bola de fuego [H=0.75Dmax]		218.94 m
Duración de la bola de fuego		18.4 s

Simulación 2 San Juan Ixhuatepec



- 3.810 E+06 (W/m²)^{4/3} s (Radiación: 4.00 kW/m²) a 822.84 m
- 1.741 E+07 (W/m²)^{4/3} s (Radiación: 12.50 kW/m²) a 509.95 m
- 7.531 E+07 (W/m²)^{4/3} s (Radiación: 37.50 kW/m²) a 320.03 m

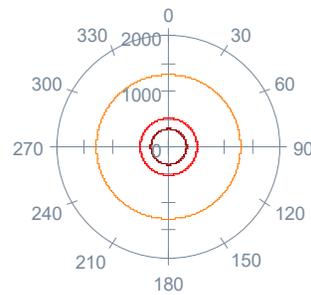
Masa de la nube 127500.00 kg Diámetro de Bola de Fuego: 291.92 m Tiempo de duración de Bola de Fuego: 18.45 s
Dosis calculadas tomando en cuenta un tiempo de exposición de 60.00 s



Modelo de radiación térmica por una explosión de vapor en expansión por líquido en ebullición (BLEVE)
Gráfica de distancias de afectación

TÍTULO DE LA MODELACIÓN		
Simulación 2 San Juan Ixhuatepec		
DESCRIPCIÓN		
Se consideran un tanque de almacenamiento de gas L.P. con capacidad de 250 000 l al 100% de agua cilíndrico horizontal. Se considera que el tanque está al 85% de su capacidad.		
Densidad del gas L.P. 0.6 kg/l		
Cantidad en kg 127 500 kg		
Tiempo de exposición 60 s		
Humedad Relativa 59%		
Vientos dominantes NE		
Velocidad del viento 2.7 m/s		
DATOS DE LA SUSTANCIA		
Nombre	GAS LICUADO DE PETRÓLEO (LPG (Liquefied Petroleum Gas))	Sinónimos
No. CAS	68476-85-7	GAS LP
Nombre CAS		
Nombre IUPAC		L.P.G.
Familia	()	
Subfamilia	()	
Fórmula		
Estructura		
PARÁMETROS DE ENTRADA		
Calor de combustión		46026.00 kJ/kg
Masa del combustible		127500.00 kg
Fracción radiante		0.4
Tiempo de exposición (t)		60.00 s
Humedad relativa		59.0 %
Temperatura		298.2 K (25.0 °C)
CARACTERÍSTICAS DE LA BOLA DE FUEGO		
Diámetro de la bola de fuego [Dmax=5.8M^(1/3)]		291.92 m
Altura al centro de la bola de fuego [H=0.75Dmax]		218.94 m
Duración de la bola de fuego		18.4 s

Simulación 2 San Juan Ixhuatepec



- 9.397 E+05 (W/m²)^{4/3} s (Radiación: 1.40 kW/m²) a 1293.43 m
- 1.741 E+07 (W/m²)^{4/3} s (Radiación: 12.50 kW/m²) a 509.95 m
- 7.531 E+07 (W/m²)^{4/3} s (Radiación: 37.50 kW/m²) a 320.03 m

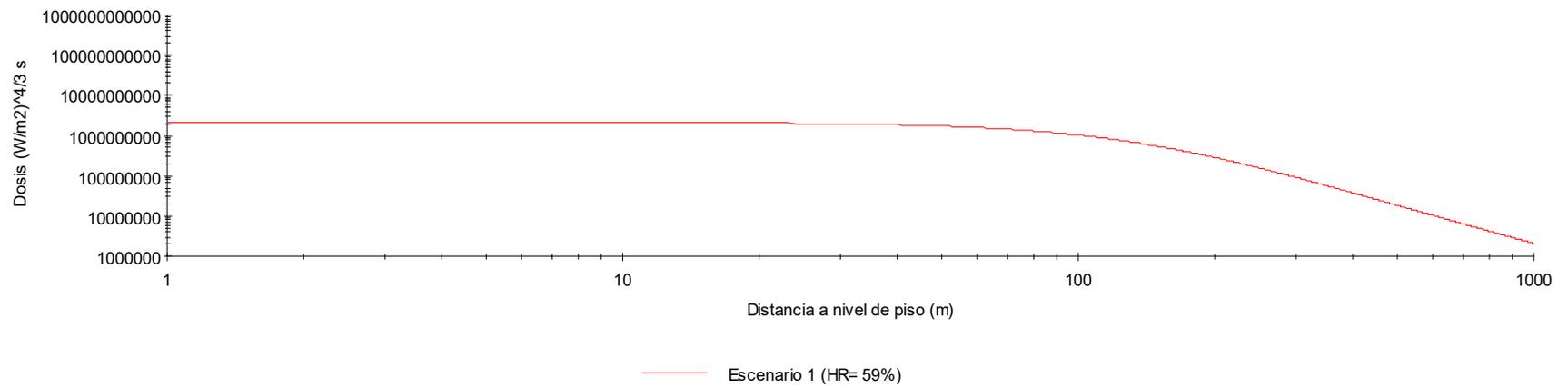
Masa de la nube 127500.00 kg Diámetro de Bola de Fuego: 291.92 m Tiempo de duración de Bola de Fuego: 18.45 s
Dosis calculadas tomando en cuenta un tiempo de exposición de 60.00 s



Modelo de radiación térmica por una explosión de vapor en expansión por líquido en ebullición (BLEVE)
Gráfica de dosis contra distancia

TÍTULO DE LA MODELACIÓN		
Simulación 2 San Juan Ixhuatepec		
DESCRIPCIÓN		
Se consideran un tanque de almacenamiento de gas L.P. con capacidad de 250 000 l al 100% de agua cilíndrico horizontal. Se considera que el tanque está al 85% de su capacidad.		
Densidad del gas L.P. 0.6 kg/l		
Cantidad en kg 127 500 kg		
Tiempo de exposición 60 s		
Humedad Relativa 59%		
Vientos dominantes NE		
Velocidad del viento 2.7 m/s		
DATOS DE LA SUSTANCIA		
Nombre	GAS LICUADO DE PETRÓLEO (LPG (Liquefied Petroleum Gas))	Sinónimos
No. CAS	68476-85-7	GAS LP
Nombre CAS		
Nombre IUPAC		L.P.G.
Familia	()	
Subfamilia	()	
Fórmula		
Estructura		
PARÁMETROS DE ENTRADA		
Calor de combustión		46026.00 kJ/kg
Masa del combustible		127500.00 kg
Fracción radiante		0.4
Tiempo de exposición (t)		60.00 s
Humedad relativa		59.0 %
Temperatura		298.2 K (25.0 °C)
CARACTERÍSTICAS DE LA BOLA DE FUEGO		
Diámetro de la bola de fuego [Dmax=5.8M^(1/3)]		291.92 m
Altura al centro de la bola de fuego [H=0.75Dmax]		218.94 m
Duración de la bola de fuego		18.4 s

Simulación 2 San Juan Ixhuatepec



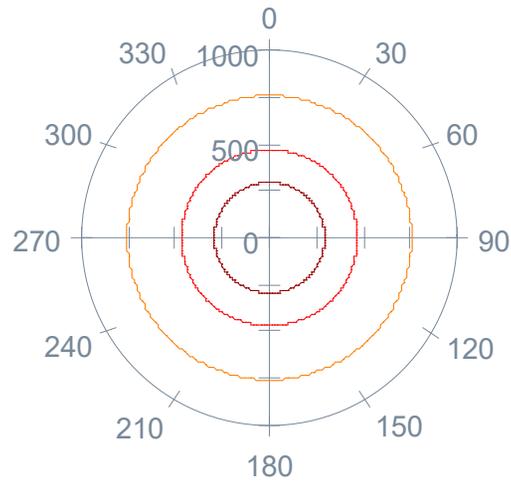
Dosis calculadas tomando en cuenta un tiempo de exposición igual a duración de la bola de fuego (18.45 s)



Modelo de radiación térmica por una explosión de vapor en expansión por líquido en ebullición (BLEVE)
Gráfica de distancias de afectación

TÍTULO DE LA MODELACIÓN		
Simulación 10 San Juan Ixhuatepec		
DESCRIPCIÓN		
Se consideran un tanque de almacenamiento de gas L.P. con capacidad de 200 000 l al 100% de agua cilíndrico horizontal. Se considera que el tanque está al 85% de su capacidad.		
Densidad del gas L.P. 0.6 kg/l		
Cantidad en kg 102 000 kg		
Tiempo de exposición 60 s		
Humedad Relativa 59%		
Vientos dominantes NE		
Velocidad del viento 2.7 m/s		
Zona industrial		
DATOS DE LA SUSTANCIA		
Nombre	GAS LICUADO DE PETRÓLEO (LPG (Liquefied Petroleum Gas))	Sinónimos
No. CAS	68476-85-7	GAS LP
Nombre CAS		
Nombre IUPAC		L.P.G.
Familia	()	
Subfamilia	()	
Fórmula		
Estructura		
PARÁMETROS DE ENTRADA		
Calor de combustión		46026.00 kJ/kg
Masa del combustible		102000.00 kg
Fracción radiante		0.4
Tiempo de exposición (t)		60.00 s
Humedad relativa		59.0 %
Temperatura		298.2 K (25.0 °C)
CARACTERÍSTICAS DE LA BOLA DE FUEGO		
Diámetro de la bola de fuego [Dmax=5.8M^(1/3)]		271.00 m
Altura al centro de la bola de fuego [H=0.75Dmax]		203.25 m
Duración de la bola de fuego		17.8 s

Simulación 10 San Juan Ixhuatepec



- 3.810 E+06 (W/m²)^{4/3} s (Radiación: 4.00 kW/m²) a 756.77 m
- 1.741 E+07 (W/m²)^{4/3} s (Radiación: 12.50 kW/m²) a 469.08 m
- 7.531 E+07 (W/m²)^{4/3} s (Radiación: 37.50 kW/m²) a 294.24 m

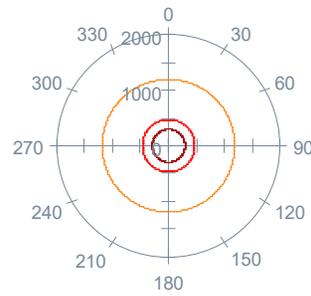
Masa de la nube 102000.00 kg Diámetro de Bola de Fuego: 271.00 m Tiempo de duración de Bola de Fuego: 17.77 s
Dosis calculadas tomando en cuenta un tiempo de exposición de 60.00 s



Modelo de radiación térmica por una explosión de vapor en expansión por líquido en ebullición (BLEVE)
Gráfica de distancias de afectación

TÍTULO DE LA MODELACIÓN		
Simulación 10 San Juan Ixhuatepec		
DESCRIPCIÓN		
Se consideran un tanque de almacenamiento de gas L.P. con capacidad de 200 000 l al 100% de agua cilíndrico horizontal. Se considera que el tanque está al 85% de su capacidad.		
Densidad del gas L.P. 0.6 kg/l		
Cantidad en kg 102 000 kg		
Tiempo de exposición 60 s		
Humedad Relativa 59%		
Vientos dominantes NE		
Velocidad del viento 2.7 m/s		
Zona industrial		
DATOS DE LA SUSTANCIA		
Nombre	GAS LICUADO DE PETRÓLEO (LPG (Liquefied Petroleum Gas))	Sinónimos
No. CAS	68476-85-7	GAS LP
Nombre CAS		
Nombre IUPAC		L.P.G.
Familia	()	
Subfamilia	()	
Fórmula		
Estructura		
PARÁMETROS DE ENTRADA		
Calor de combustión		46026.00 kJ/kg
Masa del combustible		102000.00 kg
Fracción radiante		0.4
Tiempo de exposición (t)		60.00 s
Humedad relativa		59.0 %
Temperatura		298.2 K (25.0 °C)
CARACTERÍSTICAS DE LA BOLA DE FUEGO		
Diámetro de la bola de fuego [Dmax=5.8M^(1/3)]		271.00 m
Altura al centro de la bola de fuego [H=0.75Dmax]		203.25 m
Duración de la bola de fuego		17.8 s

Simulación 10 San Juan Ixhuatepec



- 9.397 E+05 (W/m²)^{4/3} s (Radiación: 1.40 kW/m²) a 1189.25 m
- 1.741 E+07 (W/m²)^{4/3} s (Radiación: 12.50 kW/m²) a 469.08 m
- 7.531 E+07 (W/m²)^{4/3} s (Radiación: 37.50 kW/m²) a 294.24 m

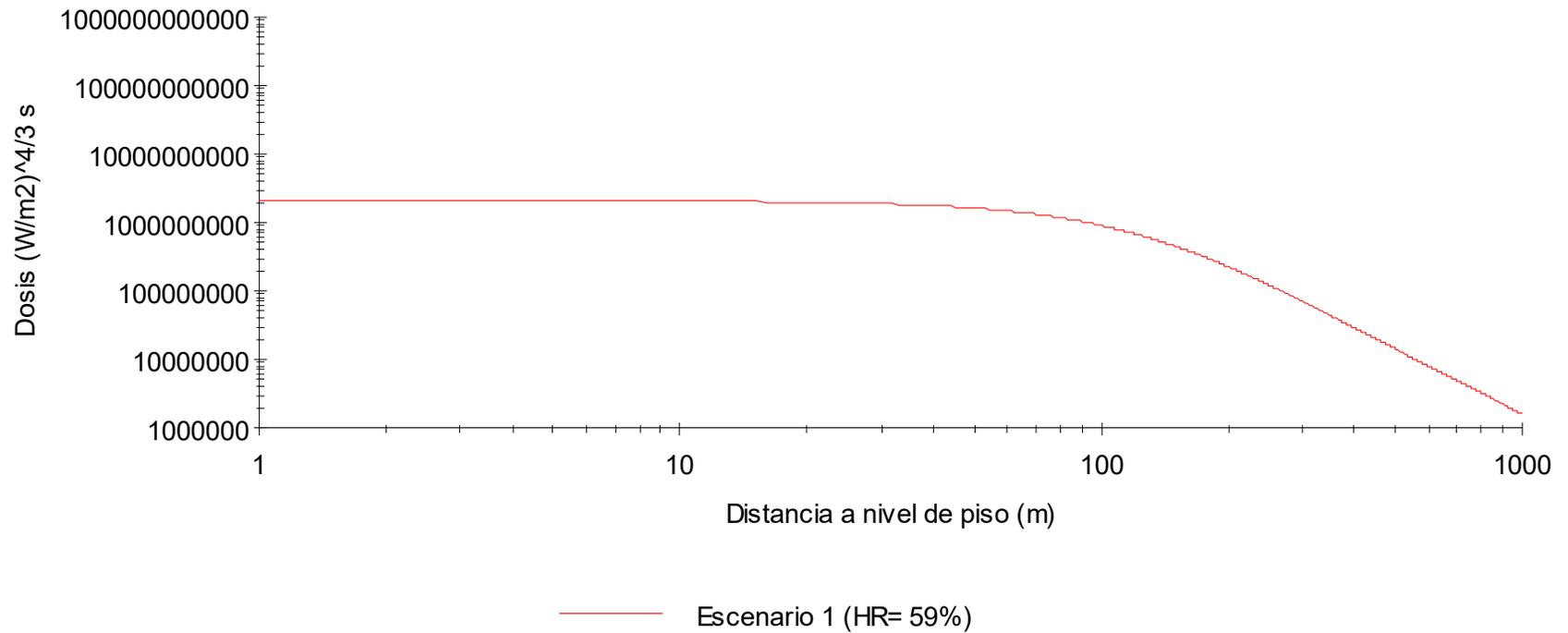
Masa de la nube 102000.00 kg Diámetro de Bola de Fuego: 271.00 m Tiempo de duración de Bola de Fuego: 17.77 s
Dosis calculadas tomando en cuenta un tiempo de exposición de 60.00 s



Modelo de radiación térmica por una explosión de vapor en expansión por líquido en ebullición (BLEVE)
Gráfica de dosis contra distancia

TÍTULO DE LA MODELACIÓN		
Simulación 10 San Juan Ixhuatepec		
DESCRIPCIÓN		
Se consideran un tanque de almacenamiento de gas L.P. con capacidad de 200 000 l al 100% de agua cilíndrico horizontal. Se considera que el tanque está al 85% de su capacidad.		
Densidad del gas L.P. 0.6 kg/l		
Cantidad en kg 102 000 kg		
Tiempo de exposición 60 s		
Humedad Relativa 59%		
Vientos dominantes NE		
Velocidad del viento 2.7 m/s		
Zona industrial		
DATOS DE LA SUSTANCIA		
Nombre	GAS LICUADO DE PETRÓLEO (LPG (Liquefied Petroleum Gas))	Sinónimos
No. CAS	68476-85-7	GAS LP
Nombre CAS		
Nombre IUPAC		L.P.G.
Familia	()	
Subfamilia	()	
Fórmula		
Estructura		
PARÁMETROS DE ENTRADA		
Calor de combustión		46026.00 kJ/kg
Masa del combustible		102000.00 kg
Fracción radiante		0.4
Tiempo de exposición (t)		60.00 s
Humedad relativa		59.0 %
Temperatura		298.2 K (25.0 °C)
CARACTERÍSTICAS DE LA BOLA DE FUEGO		
Diámetro de la bola de fuego [Dmax=5.8M^(1/3)]		271.00 m
Altura al centro de la bola de fuego [H=0.75Dmax]		203.25 m
Duración de la bola de fuego		17.8 s

Simulación 10 San Juan Ixhuatepec



Dosis calculadas tomando en cuenta un tiempo de exposición igual a duración de la bola de fuego (17.77 s)

Anexo 2.

Hoja de cálculo para efectos mecánicos

A) Estimación de ΔP usando la energía de sobrecalentamiento del líquido (Casal-Salla, 2007)

Para tanques con capacidad de 250 m³ al 85% de su capacidad

Sustancia	Límites sobrecalentamiento		Entalpía del líquido	Masa
	T (°K)	P (bar)	(kJ/kg)	(kg)
Propano	326	18.3	247.1	127500

h_{i0}	165.4	kJ/kg
Distancia real	100	m

Se realiza el ejemplo con esta distancia

$$SE = h_1 - h_{i0}$$

SE	81.7	kJ/kg
----	------	-------

Para toda la masa contenida en el recipiente

SE	10416750	kJ
----	----------	----

1) Para proceso isentrópico hay que considerar que entre el 7 y 14% de la energía se convierte en sobrepresión.

$$m_{TNT} = 0.214 \cdot SE \cdot 0.14 \cdot 10^{-3}$$

m_{TNT}	312.1	kg equivalentes TNT
-----------	-------	---------------------

Calculo distancia

$$d_n = \frac{d}{M^{1/3}}$$

d_n	14.7	m/kg ³
-------	------	-------------------

Usando Figura 10 (Fig. 4.4 en Casal, 2018) o la fórmula de ΔP

ΔP	0.09	bar
------------	------	-----

Distancia (m)	d_n (m/kg ³)	Sobrepresión n (bar)
30	4.4	0.57
100	14.7	0.09
120	17.7	0.07

Sobrepresión (bar)	d_n (m/kg ³)	Distancia (m)
0.07	18	122.1
0.34	6.5	44.1
0.7	4	27.1
1.4	3	20.3

2) Para proceso irreversible hay que considerar que entre el 3.6 y 5% de la energía se convierte en sobrepresión.

$$m_{TNT} = 0.214 \cdot SE \cdot 0.05 \cdot 10^{-3}$$

m_{TNT}	111.5	kg equivalentes TNT
-----------	-------	---------------------

Calculo distancia

$$d_n = \frac{d}{M^{1/3}}$$

d_n	20.8	m/kg ³
-------	------	-------------------

Usando Figura 10 (Fig. 4.4 en Casal, 2018) o la fórmula de ΔP

ΔP	0.06	bar
------------	------	-----

Distancia (m)	d_n (m/kg ³)	Sobrepresión (bar)
30	6.2	0.31
100	20.8	0.06
120	24.9	0.05

Sobrepresión (bar)	d_n (m/kg ³)	Distancia (m)
0.07	18	86.6
0.34	6.5	31.3
0.7	4	19.3
1.4	3	14.4

B) Estimación de ΔP por curvas características (González Ferradas et al, 2006)

Suponiendo un proceso irreversible y usando la Figura 5.15 Casal, 2018

Distancia (m)	Sobrepresión (bar)
30	0.3
100	0.05
120	0.05

Sobrepresión (bar)	Distancia (m)
0.07	200
0.34	>25
0.7	>25
1.4	>25

C) Determinación de la sobrepresión usando una aproximación polinomial (Hemmatian, et al. 2017)

Para tanques con capacidad de 250 m³ al 85% de su capacidad

Para propano se utiliza la siguiente expresión polinomial:

$$e = 43.97 - 213.9 \cdot FD - 0.152 \cdot T + 1.349 \cdot FD \cdot T - 0.0004361 \cdot T^2 - 0.002045 \cdot FD \cdot T^2 + 1.55 \cdot 10^{-6} \cdot T^3$$

FD	0.85	
Temperatura	326	°K
Distancia	100	m
Volumen	250	m ³

Se realiza el ejemplo con esta distancia

<i>e</i>	9.03	MJ/m ³
----------	------	-------------------

Se multiplica por el volumen total del recipiente

E*	2257.7	MJ
-----------	--------	----

Cálculo de cantidad de masa equivalente de TNT

$$m_{TNT} = \frac{\beta \cdot E^* \cdot 10^3}{4680}$$

β	0.45
----------	------

<i>m_{TNT}</i>	217.09	kg TNT
------------------------	--------	--------

Cálculo distancia escalada

$$d_n = \frac{d}{M^{1/2}}$$

<i>d_n</i>	16.6	m/kg ³
----------------------	------	-------------------

Usando Figura 10 (Fig. 4.4 en Casal 2018) o la fórmula de ΔP

ΔP	0.08	bar
-----------	------	-----

Distancia (m)	<i>d_n</i> (m/kg ³)	Sobrepresión (bar)
30	5	0.46
100	16.6	0.08
120	20	0.06

Sobrepresión (bar)	<i>d_n</i> (m/kg ³)	Distancia (m)
0.07	18	108.2
0.34	6.5	39.1
0.7	4	24.0
1.4	3	18.0

A) Estimación de ΔP usando la energía de sobrecalentamiento del líquido (Casal-Salla, 2007)

Para tanques con capacidad de 200 m³ al 85% de su capacidad

Sustancia	Límites sobrecalentamiento		Entalpía del líquido	Masa
	T (°K)	P (bar)	(kJ/kg)	(kg)
Propano	326	18.3	247.1	102000

h_{i0}	165.4	kJ/kg
Distancia real	100	m

Se realiza el ejemplo con esta distancia

$$SE = h_i - h_{i0}$$

SE	81.7	kJ/kg
----	------	-------

Para toda la masa contenida en el recipiente

SE	8333400	kJ
----	---------	----

1) Para proceso isentrópico hay que considerar que entre el 7 y 14% de la energía se convierte en sobrepresión.

$$m_{TNT} = 0.214 \cdot SE \cdot 0.14 \cdot 10^{-3}$$

m_{TNT}	249.7	kg equivalentes TNT
-----------	-------	---------------------

Calculo distancia

$$d_n = \frac{d}{M^{1/3}}$$

d_n	15.9	m/kg ³
-------	------	-------------------

Usando Figura 10 (Fig. 4.4 en Casal, 2018) o la fórmula de ΔP

ΔP	0.08	bar
------------	------	-----

Distancia (m)	d_n (m/kg ³)	Sobrepresión (bar)
30	4.8	0.5
100	15.9	0.08
120	19.1	0.07

Sobrepresión (bar)	d_n (m/kg ³)	Distancia (m)
0.07	18	113.3
0.34	6.5	40.9
0.7	4	25.2
1.4	3	18.9

2) Para proceso irreversible hay que considerar que entre el 3.6 y 5% de la energía se convierte en sobrepresión.

$$m_{TNT} = 0.214 \cdot SE \cdot 0.05 \cdot 10^{-3}$$

m_{TNT}	89.2	kg equivalentes TNT
-----------	------	---------------------

Calculo distancia

$$d_n = \frac{d}{M^{1/3}}$$

d_n	22.4	m/kg ³
-------	------	-------------------

Usando Figura 10 (Fig. 4.4 en Casal, 2018) o la fórmula de ΔP

ΔP	0.05	bar
------------	------	-----

Distancia (m)	d_n (m/kg ³)	Sobrepresión (bar)
30	6.7	0.28
100	22.4	0.05
120	26.9	0.04

Sobrepresión (bar)	d_n (m/kg ³)	Distancia (m)
0.07	18	80.4
0.34	6.5	29.0
0.7	4	17.9
1.4	3	13.4

B) Estimación de ΔP por curvas características (González Ferradas et al, 2006)

Suponiendo un proceso irreversible y usando la Figura 5.15 Casal, 2018

Distancia (m)	Sobrepresión (bar)
30	0.25
100	0.05
120	0.04

Sobrepresión (bar)	Distancia (m)
0.07	200
0.34	>25
0.7	>25
1.4	>25

C) Determinación de la sobrepresión usando una aproximación polinomial (Hemmatian, et al. 2017)

Para tanques con capacidad de 200 m³ al 85% de su capacidad

Para propano se utiliza la siguiente expresión polinomial:

$$e = 43.97 - 213.9 \cdot FD - 0.152 \cdot T + 1.349 \cdot FD \cdot T - 0.0004361 \cdot T^2 - 0.002045 \cdot FD \cdot T^2 + 1.55 \cdot 10^{-6} \cdot T^3$$

FD	0.85	
Temperatura	326	°K
Distancia	100	m
Volumen	200	m ³

Se realiza el ejemplo con esta distancia

<i>e</i>	9.03	MJ/m ³
----------	------	-------------------

Se multiplica por el volumen total del recipiente

<i>E*</i>	1806.2	MJ
-----------	--------	----

Cálculo de cantidad de masa equivalente de TNT

$$m_{TNT} = \frac{\beta \cdot E^* \cdot 10^3}{4680}$$

β	0.45
---------	------

<i>m_{TNT}</i>	173.67	kg TNT
------------------------	--------	--------

Cálculo distancia escalada

$$d_n = \frac{d}{M^{1/3}}$$

<i>d_n</i>	17.9	m/kg ³
----------------------	------	-------------------

Usando Figura 10 (Fig. 4.4 en Casal 2018) o la fórmula de ΔP

ΔP	0.07	bar
----	------	-----

Distancia (m)	<i>d_n</i> (m/kg ³)	Sobrepresión (bar)
30	5.4	0.4
100	17.9	0.07
120	21.5	0.06

Sobrepresión (bar)	<i>d_n</i> (m/kg ³)	Distancia (m)
0.07	18	100.4
0.34	6.5	36.3
0.7	4	22.3
1.4	3	16.7

Anexo 3.

Fotografías



Foto 1. Negocios comerciales en Colonia San Juan Ixhuatepec.



Foto 2. Zona de casas en Colonia San Juan Ixhuatepec.

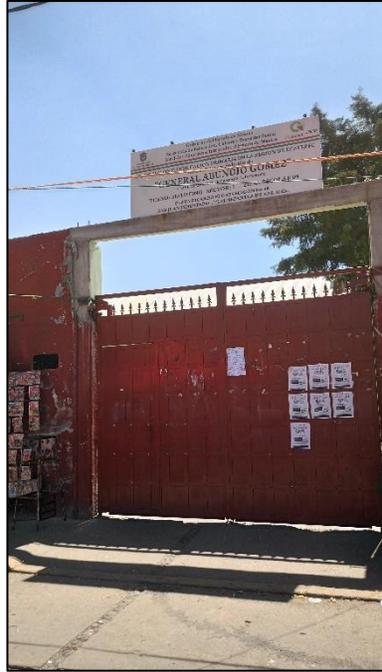


Foto 3 y 4. Escuelas en Colonia San Juan Ixhuatepec.



Foto 5. Centro de Salud en Colonia San Juan Ixhuatepec.



Foto 6. Kiosco y mercado (al fondo) de la Colonia San Juan Ixhuatepec.



Foto 7. Tianguis en Colonia San Juan Ixhuatepec.



Fotos 8 y 9. Parroquia San Juan Bautista en Colonia San Juan Ixhuatepec.



Foto 10. Panteón municipal.



Fotos 11 y 12. Río de los Remedios (canal de aguas negras que atraviesa la colonia).

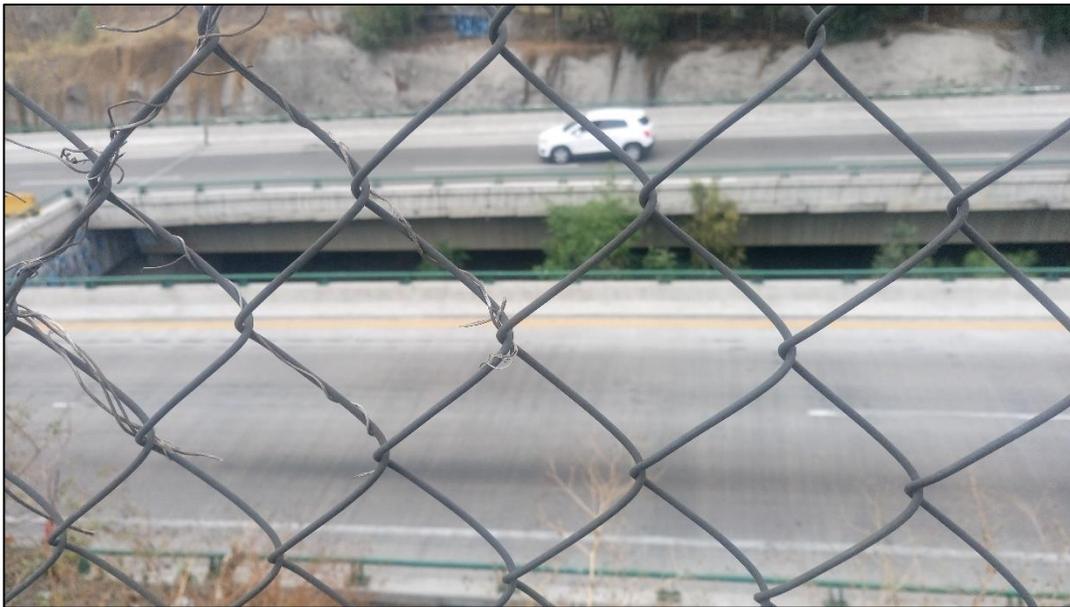


Foto 13. Autopista Ecatepec- Naucalpan colindante a la Colonia San Juan Ixhuatepec.



Foto 14. Vías de ferrocarril que dividen la zona industrial de la habitacional.



Fotos 15. Vías de ferrocarril que dividen la zona industrial de la habitacional (en la foto de la derecha la barda que se observa pertenece a una de las gaseras de la zona).



Foto 16. Planta ubicada cercana al área habitacional, Fraccionamiento Industrial La Presa.



Foto 17. Planta ubicada cercana al área habitacional, Fraccionamiento Industrial La Presa.



Foto 18. Fraccionamiento Industrial La Presa, en la cual se observa un auto tanque de almacenamiento de gas L.P.



Foto 19. Deportivo Gabilondo Soler "Cri cri", área en la que anteriormente se encontraba la planta de almacenamiento de gas L.P. en la que ocurrió el accidente en 1984.



Foto 20. Deportivo Gabilondo Soler “Cri cri”, área en la que anteriormente se encontraba la planta de almacenamiento de gas L.P. en la que ocurrió el accidente en 1984.



Foto 21. Zona anteriormente de casas que fueron afectadas mayormente por el accidente ocurrido en 1984 y que actualmente es utilizada como parque de recreación.



Foto 22. Zona anteriormente de casas que fueron afectadas mayormente por el accidente ocurrido en 1984 y que actualmente es utilizada como parque de recreación.



Foto 23. Zona anteriormente de casas que fueron afectadas mayormente por el accidente ocurrido en 1984 y que actualmente es utilizada como parque de recreación.



Fotos 24 y 25. Cruces recordando a las víctimas del accidente de 1984 en el área en la que anteriormente había casas.



Foto 26. Negocio cercano a donde ocurrió el accidente llamado "La Explosión".



Foto 27. Ductos de gas que se encuentran en el área de estudio.



Foto 28. Vehículo que contiene cilindros de gas L.P. observado en la Colonia San Juan Ixhuatpec.



Foto 29. La circulación de los auto tanques es comúnmente observada en el área de estudio.



Foto 30. La circulación de los auto tanques es comúnmente observada en el área de estudio.

Anexo 4.

Hoja de Datos de Seguridad de gas

L.P.

1. Identificador del producto

Identificador SAC	: Gas Licuado del Petróleo
Otros medios de identificación	: Gas LP, LPG
Uso recomendado del producto químico y restricciones de uso	: Utilizado principalmente como combustible doméstico para la cocción de alimentos y calentamiento de agua. También puede usarse como combustible de hornos, secadores y calderas de diferentes tipos de industrias, en motores de combustión interna y en turbinas de gas para generación de energía eléctrica.
Datos sobre el proveedor	
Nombre	: Pemex Transformación Industrial. Subdirección de Procesos de Gas y Petroquímicos.
Domicilio	: Prolongación Paseo Usumacinta 1503, Colonia Tabasco 2000. Código Postal 86035. Villahermosa, Tabasco. México.
Teléfono	: 01 993 3103500 extensión 30170 para llamada nacional en México. Sustituir + 52 en vez de 01 en caso de llamada internacional.
Información adicional	: URL: www.pemex.com
Teléfono en caso de emergencia	: Llamar al Centro de Coordinación y Apoyo a Emergencias relacionados con la seguridad industrial, protección ambiental y seguridad física en centros de trabajo de Pemex, sus Empresas Productivas Subsidiarias y, en su caso, Empresas Filiales, disponible las 24 horas los 365 días al número telefónico 01 55 9689 6520. Llamar en caso necesario. al Centro de Información y Asistencia Toxicológica del Instituto Mexicano del Seguro Social, Conmutador 01 55 5627 6900 extensión 22317.

Llamar a 01 993 3103500 extensión 32633 clave 400 para servicio médico o 444 para contraincendio del Complejo Procesador de Gas Cactus.

Llamar a 01 993 3103500 extensión 33633 clave 400 para servicio médico o 444 para contraincendio del Complejo Procesador de Gas Nuevo Pemex.

Llamar al 01 921 2113000 o 01 921 2114000 extensión 33394 o 34444, 34166 y 34185 respectivamente, para servicio médico y 33450 o 34409 respectivamente, para contraincendio del Centro de Proceso de Gas y Petroquímicos Coatzacoalcos.

Llamar al 01 782 8261000 extensión 33170 clave 446 para servicio médico o extensión 36123 clave 445 para contraincendio del Complejo Procesador de Gas Poza Rica.

Llamar al 01 899 9217600 extensión 56100 para servicio médico y 56213 o 56841 para contraincendio del Complejo Procesador de Gas Burgos.

Llamar al 01 229 9892600 extensión 25134 para contraincendio del Complejo Procesador de Gas Matapionche.

Sustituir + 52 en vez de 01 en caso de llamada internacional.

2. Identificación del peligro o peligros

Peligros	Clasificación SAC	Indicación de peligro
Físicos	Gases inflamables, categoría 1A.	H220 Gas extremadamente inflamable.
	Gases a presión, categoría gas licuado.	H280 Contiene gas a presión; puede explotar si se calienta.
Para la salud	Mutagenicidad en células germinales, categoría 2.	H341 Susceptible de provocar defectos genéticos por inhalación.
	Carcinogenicidad, categoría 2.	H351 Susceptible de provocar cáncer por inhalación.
Para el medio ambiente	No clasificable	No aplica

Elementos de las etiquetas del SAC
Pictograma**Palabra de advertencia** : Peligro**Consejos de prudencia****General** : No aplica**Prevención** : (H220) P210 Mantener alejado del calor, superficies calientes, chispas, llamas al descubierto y otras fuentes de ignición. No fumar. (H341/H351) P202 No manipular antes de haber leído y comprendido todas las precauciones de seguridad. P280 Utilizar guantes, ropa de protección para la piel, equipo de protección para los ojos y zapatos de seguridad con suela antiderrapante y casquillo de acero.**Intervención** : (H220) P377 Fuga de gas inflamado: No apagar las llamas del gas inflamado si no puede hacerse sin riesgo. P381 En caso de fuga, eliminar todas las fuentes de ignición. (H341/H351) P308+P313 EN CASO DE exposición demostrada o supuesta: consultar a un médico**Almacenamiento** : (H220) P403 Almacenar en un lugar bien ventilado. (H280) P410+P403 Proteger de la luz solar. Almacenar en un lugar bien ventilado. (H341/H351) P405 Guardar bajo llave

Eliminación : (H341/H351) P501 Eliminar el contenido o recipiente como residuo peligroso conforme a la reglamentación local vigente.

Otros peligros que no figuren en la clasificación : Puede provocar dificultades respiratorias si se inhala (asfioxiantes simple).

Información adicional : No aplica

3. Composición / información sobre los componentes

Nombre común : Gas Licuado del Petróleo

Sinónimo(s) : LPG

Identidad química

Nombre químico	Número CAS	Concentración	Otros identificadores únicos
Gas Licuado de petróleo	68476-85-7	100,0%	Número Índice 649-202-00-6 Número Comunidad Europea 270-704-2
Componentes:			
Etano	74-84-0	2,50% volumen máximo	Número Comunidad Europea 200-814-8
Propano	74-98-6	60,00% volumen mínimo	Número Comunidad Europea 200-827-9
Butanos	106-97-8 75-28-5	40,00% volumen máximo	Número Comunidad Europea 203-448-7, 200-857-2
Pentano y más pesados	109-66-0	2,00% volumen máximo	Número Comunidad Europea 203-692-4

Impurezas y aditivos estabilizadores : Etil-mercaptano (odorizante) 0,0017-0,0028 ppm, Azufre total 140 máximo ppm.

Información adicional : No aplica

4. Descontaminación y primeros auxilios

Descontaminación : No disponible

Medidas de atención necesarias en caso de

Inhalación : Retirar a la víctima lejos de la fuente de exposición, donde pueda respirar aire fresco. Si la víctima no respira, inicie de inmediato la reanimación o respiración artificial.

Vía cutánea : Se deberá rociar o empapar el área afectada con agua tibia o corriente. No se use agua caliente. Quitarse la ropa y los zapatos impregnados. Solicite atención médica inmediata.

Vía ocular : Aplicar de inmediato y con precaución agua tibia. Busque atención médica inmediata.

Ingestión : No disponible

Síntomas y efectos más importantes, agudos o crónicos : La salpicadura de una fuga de gas licuado provoca congelamiento momentáneo, seguido de hinchazón y daño ocular, además de quemadura fría. Los efectos de una exposición prolongada pueden incluir: dolor de cabeza, náusea, vómito, tos, signos de depresión en el sistema nervioso central, dificultad al respirar, mareos, somnolencia y desorientación. En casos extremos pueden presentarse convulsiones, inconsciencia, incluso la muerte como resultado de la asfixia. En fase líquida puede ocasionar quemaduras por congelamiento. Crónico: Depresión del sistema nervioso central; Sensibilizante cardíaco.

Indicaciones sobre la atención médica inmediata y el tratamiento específico : **Retirar inmediatamente de la exposición**, si presenta dificultad al respirar, personal calificado debe administrar oxígeno medicinal.

5. Medidas de lucha contra incendios

Medios de extinción apropiados	: Polvo químico seco (púrpura K = bicarbonato de potasio, bicarbonato de sodio, fosfato monoamónico) agua espreada en forma de neblina para dispersión y para enfriamiento de superficies calientes que puedan provocar re-ignición.
Medios de extinción no apropiados	: Dióxido de carbono (CO ₂), espuma química.
Peligros específicos del producto químico	: El Gas Licuado de Petróleo puede entrar en BLEVE (Explosión por Expansión de Vapor de Líquidos en Ebullición) en minutos, por lo que los principales peligros son: Fuego, radiación térmica del fuego, explosión y proyectiles.
Medidas especiales que deben considerar los equipos de lucha contra incendios	: Mientras se observe el incendio, únicamente mantenerlo bajo control y en enfriamiento, sin sofocarlo o extinguirlo. Apague el fuego, solamente después de haber bloqueado la fuente de fuga y eliminar las fuentes de ignición, así como disipar la nube de vapores con agua espreada para enfriamiento o con vapor de agua. Utilizar equipo profesional completo de bombero y equipo de respiración autónomo: <ul style="list-style-type: none">▪ Evacúe al personal del área y ponga en acción el Plan de Emergencia. En caso de no tener un plan de emergencia a la mano, retírese de inmediato lo más posible del área contrario a la dirección del viento.▪ Proceda a bloquear las válvulas que alimentan gas a la fuga y ejecute las instrucciones operacionales o desfogue al quemador, mientras enfría con agua, tuberías y recipientes expuestos al calor (el fuego, incidiendo sobre tuberías y equipos, provoca presiones excesivas). No intente apagar el incendio

sin antes bloquear la fuente de fuga, ya que, si se apaga y sigue escapando gas, se forma una nube de vapores con gran potencial explosivo, lastimando al personal involucrado en las maniobras de ataque a la emergencia.

Aviso adicional

: En la medida de lo posible, se recomienda mantener el área ventilada para disipación de los vapores de combustión y de remanente de producto.

Contar con personal de operación, mantenimiento, seguridad y contraincendio altamente entrenado y equipado para atacar incendios o emergencias con simulacros operacionales (falla eléctrica, falla de aire de instrumentos, falla de agua de enfriamiento, rotura de manguera, rotura de ducto de transporte, etc.) y contraincendio.

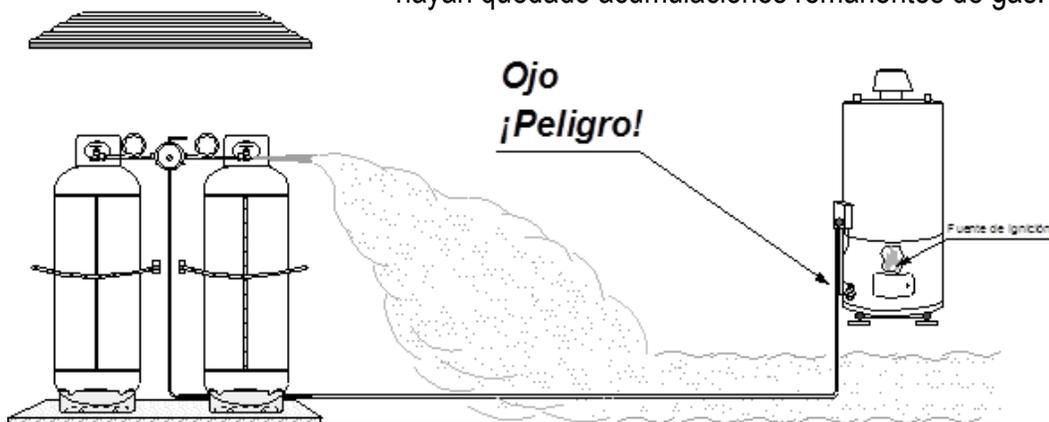
6. Medidas que deben tomarse en caso de liberación accidental**Precauciones individuales, equipos de protección y procedimientos de emergencia**

Para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia

: Se debe evacuar el área inmediatamente, en sentido contrario a la dirección del viento y, solicitar ayuda a los cuerpos de emergencias, locales o externos de su localidad.

1. Los vapores de gas licuado son más pesados que el aire, por lo tanto, al fugar tienden a descender y acumularse en sótanos, alcantarillas, fosas, pozos, zanjas, etc. Sin embargo, su olor característico por el odorizante adicionado permite percibirlo fácilmente. La nube de gas acumulada puede encontrar fuentes de ignición y originar explosiones.
2. Si huele a gas, cierre la válvula de servicio y busque fugas. Utilice agua jabonosa, nunca use encendedores, velas, cerillos o flamas abiertas para tratar de localizar la posible fuga.

3. Si observa acumulación de vapores, asegúrese primero que no haya flamas cercanas o posibilidad de generar chispas (interruptores eléctricos, pilotos de estufa, calentadores, anafres, velas, motores eléctricos, motores de combustión interna, etc.). Enseguida abra puertas y ventanas.
4. Disipe los vapores de gas licuado abanicando el área con trapos o cartones grandes. **NO USE VENTILADORES ELÉCTRICOS, NI ACCIONE INTERRUPTORES ELÉCTRICOS**, porque generan chispa y pueden producir explosiones.
5. **NO SE CONFÍE, MIENTRAS HUELA A GAS, EXISTE UN FUERTE PELIGRO DE EXPLOSIÓN.**
6. Si la fuga es mayor, llame a la Central de Fugas, al Departamento de Bomberos y/o Protección Civil.
7. Cerciórese de que el problema se resuelva y no hayan quedado acumulaciones remanentes de gas.



Desplazamiento típico de una fuga de gas licuado

Para el personal de los servicios de emergencia

: Esta es una condición realmente grave, ya que el gas licuado al ponerse en contacto con la atmósfera se vaporiza de inmediato, se mezcla rápidamente con el aire ambiente y produce nubes de vapores con gran potencial para explotar violentamente al encontrar una fuente de ignición.

Asegurar anticipadamente que la integridad mecánica y eléctrica de las instalaciones estén en óptimas condiciones (diseño, construcción y mantenimiento).

Prevenir que se acumule en los drenajes y alcantarillas.

Si aun así llega a fallar algo, considere lo indicado en la sección 5 de esta Hoja de Datos de Seguridad. Además de no intentar apagar el incendio sin antes bloquear la fuente de fuga, ya que, si se apaga y sigue escapando gas, se forma una nube de vapores con gran potencial explosivo. Pero deberá enfriar con agua rociada los equipos o instalaciones afectadas por el calor del incendio.

Utilizar equipo profesional completo de bombero y equipo de respiración autónomo.

En caso de derrame del producto líquido en cuerpos de agua: Aisle el área y prevenga de fuego o explosión para los barcos y otras estructuras, tomando en cuenta la dirección del viento, hasta que el material se disperse completamente.

Precauciones relativas al medio ambiente

: Evitar su liberación y quema. Evite la entrada a espacios confinados, drenajes, alcantarillas u otras áreas de posible acumulación. Asegure una adecuada ventilación.

Métodos y materiales de contención y limpieza

: Contenga el derrame, ventile el área y permita que se evapore.

Aviso adicional

: En la medida de lo posible, se recomienda mantener el área ventilada para disipación del remanente de producto.

7. Manejo y almacenamiento

Precauciones para un manejo seguro

: Los vapores del gas licuado son más pesados que el aire y se pueden concentrar en lugares bajos donde no

existe una buena ventilación para disiparlos. Nunca busque fugas con flama o cerillos. Utilice agua jabonosa o un detector electrónico de fugas. Asegúrese que la válvula del contenedor esté cerrada cuando se conecta o se desconecta un cilindro. Si nota alguna deficiencia o anomalía en la válvula de servicio, deseche ese cilindro y repórtelo de inmediato a su distribuidor de gas. Nunca inserte objetos dentro de la válvula de alivio de presión.

Recomendaciones para la Instalación, Uso y Cuidado de Cilindros Portátiles y Tanques Estacionarios para Servicio de Gas Licuado:

1. Los tanques y cilindros para gas licuado deben instalarse sobre una base firme, preferentemente a la intemperie o en lugares abiertos, protegidos de golpes y caída de objetos. Los tanques estacionarios, además deben anclarse. Figuras 1 y 2.
2. Los cilindros deben sujetarse a la pared con un cable, cincho u otro medio adecuado para evitar que se caigan.
3. Proteja los recipientes de los rayos solares. La exposición a altas temperaturas provoca aumentos de presión y apertura de las válvulas de seguridad, con la subsecuente liberación de gas a la atmósfera.
4. Para evitar sobrellenados y presión excesiva en los recipientes, con la consecuente liberación de gas, se recomienda instalar en ellos, válvulas de servicio con dispositivo indicador de máximo nivel de llenado de líquidos. Figura 3.
5. Para evitar que las válvulas de seguridad fallen, manténgalas con un capuchón metálico, o un tapón especial de hule que las proteja de la lluvia y de agentes extraños como polvo, basura, agua, etc.

6. Cada vez que cambie cilindros, exija a los operadores que no los maltraten y que le entreguen cilindros en buenas condiciones (pintura, golpes, abolladuras, corrosión, etc.). Si la apariencia de estos no le satisface, pida que se los cambien.
7. Asegúrese de utilizar las herramientas adecuadas al conectar y desconectar los cilindros.
8. Una vez abierta la válvula de servicio, busque fugas con agua jabonosa en los puntos marcados con "X". Si observa burbujas, cierre la válvula de servicio y reapriete las conexiones. *No fume mientras realiza estos trabajos.* Figura 3.
9. No fuerce la espiral de expansión (pictel, pigtail o cola de cochino) su flexibilidad está diseñada para facilitar, sin dañar, la conexión entre las válvulas de servicio y los reguladores de presión. Figura 3.
10. No modifique su instalación de gas sin la debida autorización. Consulte a su distribuidor.

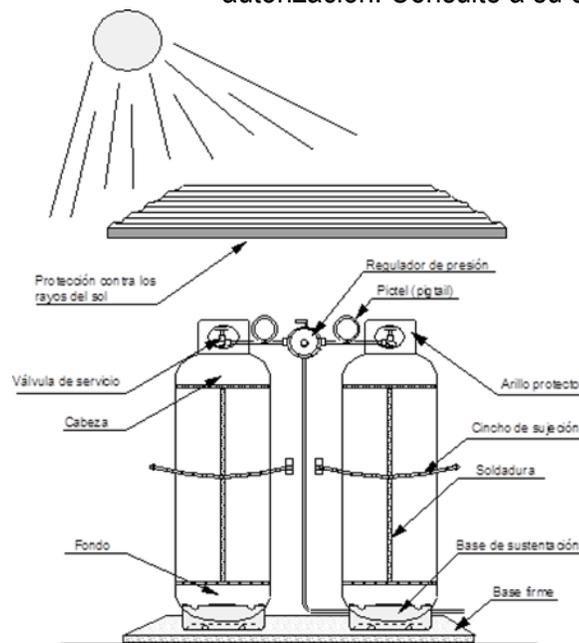


Figura 1. Instalación típica para cilindros portátiles

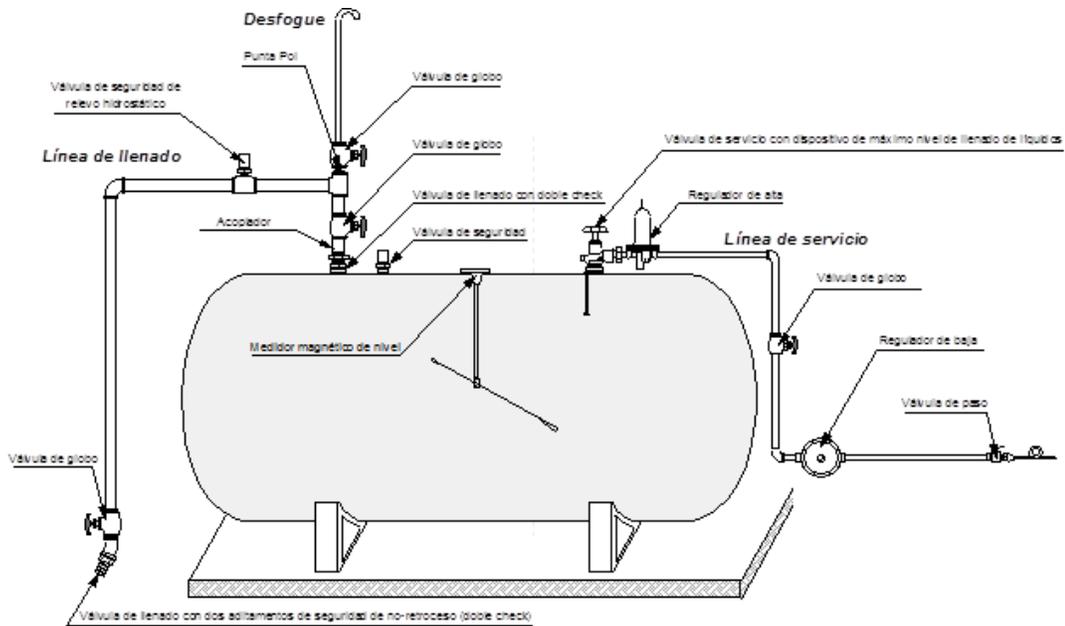


Figura 2. Instalación típica para tanques estacionarios

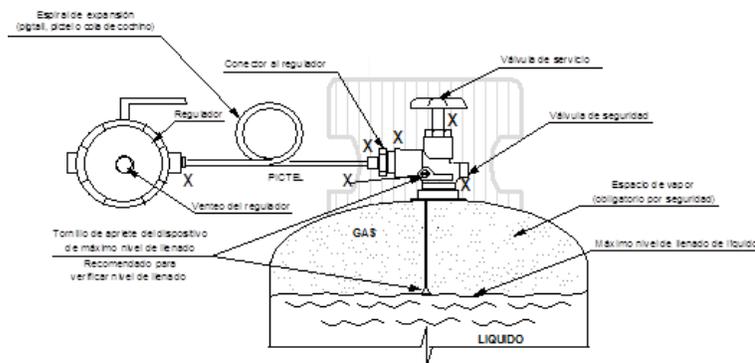


Figura 3. Muestra el dispositivo indicador de máximo nivel de llenado de líquidos, la espiral de expansión (pictel) y la localización de posibles puntos de fuga (X).

Considere de manera precautoria la instalación de:

- Detectores de mezclas explosivas, calor y humo con alarmas sonoras y visuales.
- Válvulas de operación remota para aislar grandes inventarios, entradas, salidas, en prevención a la rotura de mangueras, etc., para actuarlas localmente o desde un refugio confiable (cuarto de control de instrumentos).

Gas Licuado del Petróleo**HDS-PEMEX-TRI-SAC-11**

Núm. Versión 1.1

NOM-018-STPS-2015 DOF 09.10.2015

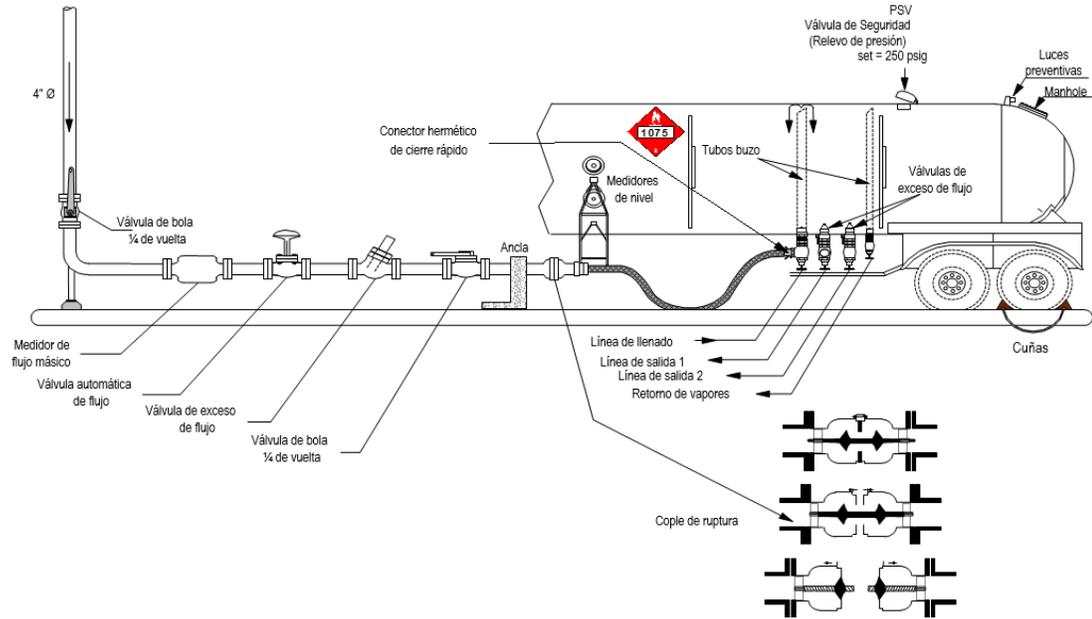
- Redes de agua contra incendio permanentemente presionadas, con los sistemas de aspersion, hidrantes y monitores disponibles, con revisiones y pruebas frecuentes.
- Extintores portátiles.

Condiciones de almacenamiento seguro, incluida cualesquier incompatibilidad

: Almacene los recipientes en lugares autorizados, lejos de fuentes de ignición y de calor. Disponga precavidamente de lugares separados para almacenar diferentes gases comprimidos o inflamables, de acuerdo a las normas aplicables. Almacene invariablemente todos los cilindros de gas licuado, vacíos y llenos, en posición vertical, (con esto se asegura que la válvula de alivio de presión del recipiente, siempre esté en contacto con la fase vapor del LPG). No deje caer ni maltrate los cilindros. Cuando los cilindros se encuentren fuera de servicio, mantenga las válvulas cerradas, con tapones o capuchones de protección de acuerdo a las normas aplicables. Los cilindros vacíos conservan ciertos residuos, por lo que deben tratarse como si estuvieran llenos (NFPA-58, “Estándar para el Almacenamiento y Manejo de Gases Licuados del Petróleo”).

Aviso adicional

: Instalación típica para llenado de auto-tanque de gas licuado:



8. Controles de exposición / Protección personal

Parámetros de control

Límites de exposición laboral

Nombre químico	Tipo	ppm	mg/m ³	Observaciones	Referencia
Gas Licuado del Petróleo	PPT ¹	1000	No aplica	No disponible	NOM-010-STPS-2014

¹PPT: Promedio Ponderado por Tiempo

Índice Biológico de Exposición (IBE)

Nombre químico	Determinante o Parámetros biológicos	Momento del muestreo	IBE	Referencia
Gas Licuado del Petróleo	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible

Controles de ingeniería adecuados : Ventile las áreas confinadas, donde puedan acumularse mezclas inflamables. Acate las medidas de seguridad indicadas en la normatividad eléctrica aplicable a este tipo de instalaciones.

Medidas de protección individual, como equipo de protección personal (EPP)

Protección de los ojos/la cara : Se recomienda utilizar lentes de seguridad reglamentarios y, encima de éstos, protectores faciales cuando se efectúen operaciones de llenado y manejo de gas licuado en cilindros y/o conexión y desconexión de mangueras de llenado.

Protección de la piel : Camisola de manga larga y pantalón u overol de algodón 100%, guantes de cuero, botas industriales de cuero con casquillo de protección y suela antiderrapante a prueba de aceite y químicos. Evite el contacto de la piel con el gas licuado debido a la posibilidad de quemaduras frías.

Protección de las vías respiratorias : En espacios confinados y en incendios, utilice equipo de respiración autónomo. En incendios, además debe utilizar traje profesional de bomberos completo, que incluye monja de material retardante a la flama, casco profesional de bombero, chaquetón, pantalón, guantes y botas con casquillo, en materiales ignífugos o retardantes a la flama.

Peligros térmicos : No aplica

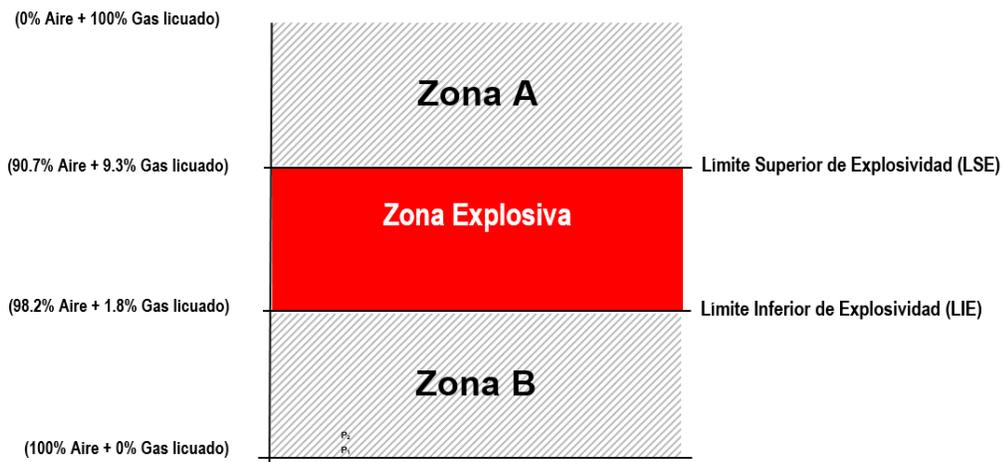
Otros : No aplica.

Información adicional : No aplica.

9. Propiedades físicas y químicas

Estado físico : Gas

Color	: Incoloro
Olor	: Inodoro
Punto de fusión/punto de congelación	: En condiciones estándar: No aplica. En condiciones de almacenamiento y transporte: -167,9°C @ 101,325 kPa
Punto de ebullición o punto de ebullición inicial e intervalo de ebullición	: -32,5°C @ 101,325 kPa
Inflamabilidad	: Inflamable
Límites inferior y superior de explosión/límite de inflamabilidad	: Mezcla Aire + Gas licuado En condiciones ideales de homogeneidad, las mezclas de aire con menos de 1,8% y más de 9,3% de gas licuado no explotarán, aún en presencia de una fuente de ignición (Zonas A y B). Sin embargo, a nivel práctico deberá desconfiarse de las mezclas cuyo contenido se acerque a la zona explosiva, donde sólo se necesita una fuente de ignición para desencadenar una explosión.



Punto 1 = 20% del LIE.- Valor de ajuste de las alarmas en los detectores de mezclas explosivas.

Punto 2 = 60% del LIE.- Se ejecutan acciones de paro de bombas, bloqueo de válvulas, etc., antes de llegar a la Zona Explosiva.

Punto de inflamación	: En condiciones estándar: No aplica En condiciones de transporte y almacenamiento: -98°C
Temperatura de ignición espontánea	: 435°C
Temperatura de descomposición	: No disponible
pH	: En condiciones estándar: No aplica. En condiciones de almacenamiento y transporte: no disponible
Viscosidad cinemática	: No aplica
Solubilidad	: Aproximadamente 0,0079% en peso @ 20°C
Coefficiente de partición n-octanol/agua	: 1,09 – 2,8 @ 20°C y pH 7 (ECHA, 2018)
Presión de vapor	: 688 – 1379 kPa @ 37,8°C
Densidad o densidad relativa	: 0,5400 @ 15,56°C
Densidad relativa de vapor	: 2,01 @ 15,5°C (dos veces más pesado que el aire)
Características de las partículas	: En condiciones estándar: No aplica. En condiciones de transporte y almacenamiento: No disponible.
Información adicional	: Tiene un odorizante que le proporciona un olor característico, fuerte y desagradable para advertir su presencia. El más común es el etil mercaptano. La intensidad de su olor puede disminuir debido a la oxidación química, adsorción o absorción. El gas que fuga de recipientes y ductos subterráneos puede perder su odorización al filtrarse a través de ciertos tipos de suelo. La

intensidad del olor puede reducirse después de un largo período de almacenamiento.

10. Estabilidad y reactividad

Reactividad	: Con productos químicos y gases licuados no refrigerados a presión.
Estabilidad química	: Estable en condiciones normales de almacenamiento y manejo
Posibilidad de reacciones peligrosas	: Puede entrar en BLEVE en minutos, por fuego, radiación térmica del fuego, explosión y proyectiles. No se polimeriza.
Condiciones que deben evitarse	: Mantener alejado de fuentes de ignición y calor intenso, así como de oxidantes fuertes.
Materiales incompatibles	: Oxidantes fuertes.
Productos de descomposición peligrosos	: Los gases o humos, productos normales de la combustión son bióxido de carbono, nitrógeno y vapor de agua. La combustión incompleta puede formar monóxido de carbono (gas tóxico). También puede producir aldehídos (irritante de nariz y ojos) por la combustión incompleta.

11. Información toxicológica

Posibles vías de ingreso al organismo	: Por inhalación y cutánea.
Toxicidad aguda	: Exposición leve: Cefálea, vértigo y náuseas. Moderada: Pérdida de la coordinación motora y narcosis. Severa: Asfixia y pérdida del conocimiento que puede llevar a la muerte por anoxia anóxica.

Corrosión e irritación cutáneas	: En contacto con el líquido o gas comprimido provoca congelamiento de la parte afectada.
Lesiones oculares graves e irritación ocular	: En contacto con el líquido o gas comprimido provoca congelamiento de la parte afectada.
Sensibilización respiratoria o cutánea	: No aplica
Mutagenicidad en células germinales	: En animales de experimentación se ha presentado mutagénesis con el 1,3-butadieno.
Carcinogenicidad	: Estudios en trabajadores expuestos por vía inhalatoria al 1,3-butadieno han reportado un riesgo mayor de desarrollar cáncer del estómago, sangre y sistema linfático.
Toxicidad para la reproducción	: En animales de experimentación se ha presentado con la exposición del 1,3 butadieno vía inhalatoria en la preñez, bajo peso en el feto y defectos en el esqueleto.
Toxicidad sistémica específica de órganos blanco – exposición única	: Anoxia anoxica en caso de exposición severa.
Toxicidad sistémica específica de órganos blanco – exposiciones repetidas	: No aplica
Peligro de toxicidad por aspiración	: Referido en toxicidad aguda.
Síntomas relacionados con las características físicas, químicas y toxicológicas	: Efectos cutáneos y oculares en relación a la temperatura de almacenaje.

Efectos inmediatos o retardados así como efectos crónicos producidos por una exposición a corto o largo plazo : En contacto con el líquido o gas comprimido provoca congelamiento de la parte afectada.

Datos numéricos de toxicidad, tales como estimaciones de toxicidad aguda : No disponible.

Efectos aditivos (interactivos) : No disponible.

Otra información : No disponible.

12. Información ecotoxicológica

Ecotoxicidad :

Organismos	Aguda	Crónica
Acuáticos	: No aplica.	: No aplica.
Terrestres	: No aplica.	: No aplica.

Persistencia y degradabilidad : Sólo se encontrará en estado gaseoso en la atmósfera. El efecto de una fuga de GLP es local e instantáneo debido a la degradación en la atmósfera por la reacción con radicales hidroxilo producidos fotoquímicamente con una vida media de hasta 14 días. Tiene una partición del 100% a la atmósfera, por lo que la biodegradación en agua y suelo no son un proceso de destino ambiental importante.

Potencial de bioacumulación : La bioconcentración en peces no es un proceso de destino ambiental importante.

Movilidad en el suelo	: La adsorción del suelo y sedimentos no es un proceso de destino ambiental importante.
Otros efectos adversos	: Puede migrar largas distancias de la fuente de fuga, que al entrar en contacto con algún punto de ignición, provocará la quema del gas y la generación de emisiones, básicamente de los Gases de Efecto de Invernadero que contribuyen al Cambio Climático.

13. Consideraciones de eliminación

No intente eliminar el producto no utilizado o sus residuos. En todo caso regréselo al proveedor para que lo elimine apropiadamente.

Los recipientes vacíos deben manejarse con cuidado por los residuos que contiene. El producto residual puede incinerarse bajo control si se dispone de un sistema adecuado para ello.

14. Información relativa al transporte

Número ONU	: 1075
Designación oficial de transporte	: Gases de petróleo, licuados
Clase(s) relativa(s) al transporte	: 2.1
Grupo de envase y/o embalaje, si aplica	: No aplica
Peligros para el medio ambiente	: No aplica
Precauciones especiales	: No se permite el transporte del gas licuado de cantidades limitadas.

No se permite el transporte como cantidad exceptuada.

Envases y/o embalajes y Recipientes Intermedios para Granel (RIG) (IBC): Instrucciones de envase y embalaje P200: Recipientes a presión autorizados: Botellas, tubos, bidones a presión, bloques de botellas y Contenedores de Gas de Elementos Múltiples. 10 años para la periodicidad de los ensayos, con una presión de servicio no superior a dos terceras partes de la presión de ensayo.

Cisternas portátiles y contenedores para graneles - Instrucción de transporte T50.

Transporte a granel conforme a los instrumentos de la Organización Marítima Internacional : No aplica

15. Información sobre la reglamentación

Sustancia Seveso categoría P2.

16. Otra información

Clasificación del grado de riesgo NFPA : Salud: 1
Inflamabilidad: 4
Reactividad: 0



Fecha de elaboración : 24 de septiembre del 2018

Fecha de actualización : 10 de octubre del 2018

Referencias :
ATSDR. (6 de mayo de 2016). *ToxFAQs™: 1,3-Butadieno (1,3-Butadiene)* | ToxFAQ | ATSDR. Obtenido de <https://www.atsdr.cdc.gov>

- European Chemicals Agency. (2018). *Inicio - ECHA*. Obtenido de <https://echa.europa.eu>
- IPIECA. (2010). *Guidance on the application of Globally Harmonized System (GHS) criteria to petroleum substances*. London, United Kingdom: Global Oil and Gas Industry Association for Environmental and Social Issues.
- Naciones Unidas. (2015). *Recomendaciones relativas al Transporte de Mercancías Peligrosas Reglamentación Modelo*. Nueva York y Ginebra: Naciones Unidas.
- Naciones Unidas. (2017). *Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos (SGA) ST/SG/AC.10/30/Rev.7*. Nueva York y Ginebra: Naciones Unidas.
- PEMEX. (2007). *Hoja de Datos de Seguridad Gas Licuado del Petróleo*. México: PGPB.
- Petróleos Mexicanos. (2012). *Compendio de Toxicología y Toxinología*. México: PEMEX.
- PTI. (2018). *Monitoreo y Medición de Especificaciones de Productos Gas LP Especificación PGPB 007, con referencia a la NOM-016-CRE vigente*. México: Subdirección de Proceso de Gas y Petroquímicos.
- STPS. (28 de abril de 2014). Norma Oficial Mexicana NOM-010-STPS-2014, Agentes químicos contaminantes del ambiente laboral - Reconocimiento, evaluación y control. *Diario Oficial*.
- STPS. (9 de octubre de 2015). NORMA Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2015, Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo. *Diario Oficial*.
- Transport Canada, CIQUIME, SCT, & U.S. Department of Transportation. (2016). *Guía de Respuesta en Caso de Emergencia*.
- UNFCCC. (2018). *Manual del Sector de la Energía. Quema de Combustibles*. Obtenido de <https://unfccc.int>

Información adicional : Si el nivel de odorización disminuye, notifique a su distribuidor.

Declaración : *La información presentada en este documento se considera correcta a la fecha de emisión para el producto que se indica. Y solo pretende comunicar los peligros físicos, para la salud o para el medio ambiente asociados. No debe considerarse como garantía de cualquier especificación del producto. Ni de responsabilidad por parte del productor por daños o lesiones al comprador o terceras personas por el uso de este producto, aun cuando hayan sido cumplidas las indicaciones expresadas en este documento, el cual se preparó sobre la base de que el comprador asume los riesgos derivados del mismo.*