

**TESIS DE  
MAESTRÍA EN  
INGENIERÍA  
AMBIENTAL**

**TESISTA:  
LIC. DIEGO DUHALDE**

**ANÁLISIS DE RIESGO AMBIENTAL POR  
TRANSPORTE DE SUSTANCIAS QUÍMICAS  
(ÁREA INDUSTRIAL DE BAHÍA BLANCA)**

**AÑO 2017**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
UTN - FRBB**

**DIRECTOR:**

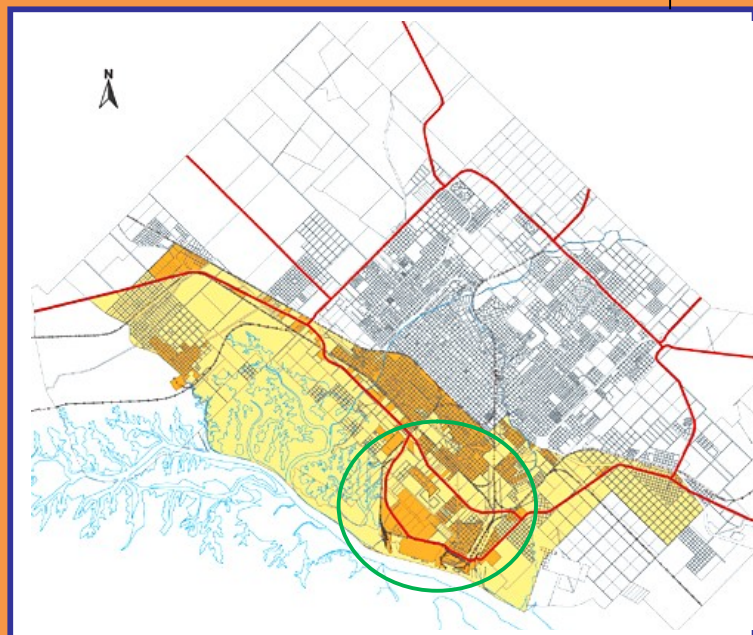
**OLGA CIFUENTES**

**Dirección en Metodología de  
la Investigación**

**CO-DIRECTOR**

**PEDRO BODNARIUK**

**Codirección por Pertinencia  
Temática**



## AGRADECIMIENTOS

A la directora de esta tesis, Mg. Ing. Olga Cifuentes, por su empeño continuo en tratar sistemáticamente de mejorar este trabajo, aconsejándome y mostrándome diferentes alternativas y herramientas aplicables.

A mi co-director, el Ing. Pedro Bodnariuk, por sus valiosos aportes científicos y por apoyarme desinteresadamente en la culminación de esta etapa, por el tiempo entregado para guiarme y por su compañerismo.

A Fernanda Martín, que fue mi guía en todo momento y a quién acudía cada vez que tenía alguna duda.

A mi familia, Ivancito y Luciana, que me aguantaron tanto tiempo y no me dejaron bajar los brazos en los momentos complicados.

A Mamá y Papá, por haber hecho todo lo posible para que estudie, circunstancia que hizo que esté escribiendo esta tesis.

## INDICE

ÍNDICE - EVALUACION IMPACTO AMBIENTAL	
Contenido	Nº Página
RESUMEN	1
INTRODUCCION	2
Objetivo General	2
Objetivos Específicos	2
1. MARCO METODOLÓGICO	4
1.1. Universo de Estudio	5
1.2. Fuentes	5
a. Fuentes Primarias	5
a.1. Observación Directa	5
a.2. Entrevista	6
a.3. Cálculos Matemáticos	6
b. Fuentes Secundarias	7
b.1. Documentos	7
b.2. Cartografía	7
b.3. Estadísticas	7
b.4. Notas Periodísticas	7
1.3. Instrumentos	7
2. MARCO TEÓRICO	8
Sustancias Químicas	9
Tránsito	9
Peligro	9
Riesgo	9
Riesgo Individual	10
Amenazas	10
Vulnerabilidades	12
2.1. Modelos Matemáticos para la Estimación de Consecuencias	14
2.1.1. Escape de un Gas por un Orificio	14
2.1.1.a. Régimen Subsónico	15
2.1.1.b. Régimen Sónico	16
2.1.2. Escape de líquidos	16
2.1.2.a. Escape de Líquidos por Orificios	16
2.1.2.b. Escape de Líquidos por Agujeros en Tanques	17
2.1.3. Descarga de Flujo en dos Fases	20
2.1.4. Evaporación Violenta (Flash) y Evaporación Normal	22
2.1.5. Incendio en Charco o Recinto	24
2.1.5.a. Tasa de Incendio	25
2.1.5.b. Tamaño del Charco	26
2.1.5.c. Geometría de las Llamas	27
2.1.5.d. Flujo de Calor	28
2.1.5.e. Intensidad de Radiación	29
2.1.6. Dardo de Fuego	31
2.1.7. Modelo Equivalente TNT	33
2.1.8. Dispersión de Nubes de Vapor	34
2.1.8.a. Factores que afectan la dispersión de vapor	34
2.1.8.b. Modelos de Dispersión de Vapores	38
2.1.9. Incendio en Llamarada y Explosión de Nube de Vapor No Confinada	45
2.1.10. BLEVE	48
2.2. Selección de los orificios de Fuga	51
3. ÁREA DE ESTUDIO	52
3.1. Descripción del Área de Estudio	53
3.1.1. Estructura Urbana	56

<b>Contenido</b>	<b>N° Página</b>
3.1.2 Polo Petroquímico	57
3.2. Población e Índices poblacionales	58
3.3. Clima	58
3.4. Relieve	59
3.5. Geología Local	60
3.6. Recursos Hídricos Superficiales	60
4. ESCENARIOS	61
4.1. Rotonda N° 1 y Rotonda N° 2	62
4.2. Evaluación de Escenarios	63
4.2.1. Definición de los Escenarios de Riesgo	63
4.2.2. Descripción del Método del Árbol de Sucesos	64
4.2.3. Construcción del Árbol	64
4.2.4. Evaluación del Árbol	65
4.3. Identificación de Escenarios	65
4.3.1. Escenarios de Accidente Camión con GLP (E01)	65
4.3.2. Escenarios de Accidente Camión con Gasolina (E02)	65
4.3.3. Escenarios de Accidente Camión con Etileno (E03)	66
4.3.4. Escenarios de Accidente Camión con Cloro Líquido (E04)	66
4.3.5. Escenarios de Accidente Camión con Oxígeno Líquido (E05)	67
4.4. Ocurrencia de Eventos	67
4.4.1. Estimación de Probabilidad de Ocurrencia del Evento Peligroso	67
4.4.2. Estimación de Frecuencia de Accidentes	67
4.5. Presentación de Eventos	68
4.5.1. Estimación de Consecuencias del Evento Peligroso	68
4.5.2. Estimación del Riesgo	69
4.6. Características de las Sustancias Químicas Seleccionadas	72
4.6.1. Gas Licuado de Petróleo	72
4.6.2. Gasolina	73
4.6.3. Etileno	73
4.6.4. Cloro Líquido	74
4.6.5. Oxígeno Líquido	74
4.7. Simulaciones	75
4.7.1. Escenario GLP: Rotura Parcial (10 mm)	75
4.7.2. Resultados Escenario GLP: Rotura Total	77
4.7.3. Resultados Escenario Gasolina: Rotura Parcial (10 mm)	81
4.7.4. Resultados Escenario Gasolina: Rotura Total	83
4.7.5. Resultados Escenario Etileno: Rotura Parcial (10 mm)	86
4.7.6. Resultados Escenario Etileno: Rotura Total	88
4.7.7. Resultados Escenario Cloro Líquido: Rotura Parcial (10 mm)	91
4.7.8. Resultados Escenario Cloro Líquido: Rotura Total	93
4.7.9. Resultados Escenario Oxígeno Líquido: Rotura Parcial (10 mm)	96
4.7.10. Resultados Escenario Oxígeno Líquido: Rotura Total	99
4.8. Medición del Riesgo	100
5. MARCO REGULATORIO	102
5.1. Legislación Nacional	103
5.2. Normativa Provincial	105
6. AMENAZA Y VULNERABILIDAD	107
6.1. Amenazas	108
6.2. Vulnerabilidades	108
6.2.1. Vulnerabilidades Físicas	108
6.2.2. Vulnerabilidades Económicas	109
6.2.3. Vulnerabilidades Sociales	109
6.2.4. Vulnerabilidades Políticas	109
6.2.5. Vulnerabilidades Técnicas	109
6.2.6. Vulnerabilidades Ideológicas	110
6.2.7. Vulnerabilidades Culturales	110



<b>Contenido</b>	<b>N° Página</b>
6.2.8. Vulnerabilidades Educativas	110
6.2.9. Vulnerabilidades Ecológicas	110
6.2.10. Vulnerabilidades Institucionales	111
7. EVALUACIÓN DE ENTREVISTAS REALIZADAS	112
7.1 Resultados de las Encuestas	113
8. CONCLUSIONES	114
9. RECOMENDACIONES	118
10. BIBLIOGRAFÍA	122
ANEXOS	127
ANEXO I: Relevamiento Fotográfico del Área de Estudio y Registro de Coordenadas	128
ANEXO II: Frecuencia de Tránsito de Camiones por Escenario de Estudio	134
ANEXO III: Niveles de Daño Contemplados para Individuos y Equipamiento	136
ANEXO IV: Cuestionarios de Entrevistas y Conclusiones	137
ANEXO V: Resultados de Cálculos Matemáticos	152
ANEXO VI: Cálculos de Riesgo por Sustancia Química	183
ANEXO VII: Resultados de Simulaciones con el Programa ALOHA	185
ANEXO VIII: Registros del Transporte de Sustancias Químicas en el Área Industrial y Portuaria de Bahía Blanca	192
ANEXO IX: Publicaciones Sobre Accidentes con Transportes de Sustancias Químicas	193
ANEXO X: Artículos Destacados de la Ley Nacional de Tránsito N° 24449	197

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL UTN-BA

**FIGURAS**

	<b>Pág.</b>
Figura Nº 1. Área de Estudio	53
Figura Nº 2. Accesos al Polo Petroquímico	55
Figura Nº 3. Estructura Urbana de Bahía Blanca	56
Figura Nº 4. Árbol de Eventos.	64
Figura 5. Curvas de Isoriesgo.	70
Figura 6. Criterios de Tolerancia de Riesgo Individual.	71
Figura 7. Escenario GLP Rotura Parcial.	76
Figura 8. Probabilidad de Ocurrencia de Escenarios GLP Rotura Parcial.	76
Figura 9. Escenario GLP Rotura Total.	77
Figura 10. Probabilidad de Ocurrencia de Escenarios GLP Rotura Total.	78
Figura 11. Efectos Escenarios GLP.	78
Figura 12. Escenario Gasolina Rotura Parcial.	82
Figura 13. Probabilidad de Ocurrencia de Escenarios Gasolina Rotura Parcial.	82
Figura 14. Efectos Escenarios Gasolina.	83
Figura 15. Escenario Gasolina Rotura Total.	84
Figura 16. Probabilidad de Ocurrencia de Escenarios Gasolina Rotura Total.	84
Figura 17. Escenario Etileno Rotura Parcial.	86
Figura 18. Probabilidad de Ocurrencia de Escenarios Etileno Rotura Parcial.	87
Figura 19. Efectos Escenarios Etileno.	87
Figura 20. Escenario Etileno Rotura Total.	88
Figura 21. Probabilidad de Ocurrencia de Escenarios Etileno Rotura Total.	88
Figura 22. Escenario Cloro Rotura Parcial.	92
Figura 23. Probabilidad de Ocurrencia de Escenarios Cloro Rotura Total y Parcial.	92
Figura 24. Efectos Escenarios Cloro.	93
Figura 25. Escenario Cloro Rotura Total.	94

Figura 26. Escenario Oxígeno Rotura Parcial.	96
Figura 27. Efectos Escenarios Oxígeno.	97
Figura 28. Escenario Oxígeno Rotura Total.	99

## TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Estabilidades de Pasquill	19
Tabla 2. Categorías de la Estabilidad de Pasquill.	37
Tabla 3. Comportamiento de las Nubes	39
Tabla 4. Categorías de Reactividad	47
Tabla 5. Orificios de Fuga.	51
Tabla 6. Tasa de Accidentes de Camiones.	68
Tabla 7. Riesgos de la Actividad.	69
Tabla 8. Criterios de Tolerancia del Riesgo Individual a Terceros	70
Tabla 9. Propiedades del GLP.	72
Tabla 10. Propiedades de la Gasolina.	73
Tabla 11. Propiedades del Etileno.	73
Tabla 12. Propiedades del Cloro.	74
Tabla 13. Propiedades del Oxígeno.	74
Tabla 14. Riesgo Escenario 01.	100
Tabla 15. Riesgo Escenario 02.	100
Tabla 16. Riesgo Escenario 03.	101
Tabla 17. Riesgo Escenario 04.	101

## ESQUEMAS

	<b>Pág.</b>
Esquema 1. Fuga Parcial de Cisterna con GLP.	76
Esquema 2. Fuga Total de Cisterna con GLP.	77
Esquema 3. Fuga Parcial de Cisterna con Gasolina.	82
Esquema 4. Fuga Total de Cisterna con Gasolina.	84
Esquema 5. Fuga Parcial de Cisterna con Etileno.	86
Esquema 6. Fuga Total de Cisterna con Etileno.	88
Esquema 7. Fuga Parcial de Cisterna con Cloro.	92
Esquema 8. Fuga Total de Cisterna con Cloro.	94
Esquema 9. Fuga Parcial de Cisterna con Oxígeno.	96
Esquema 10. Fuga Total de Cisterna con Oxígeno.	99
Esquema 11. Sumatoria de Vulnerabilidades.	117

## IMÁGENES

	<b>Pág.</b>
Imagen N° 1. Universo de Estudio.	54
Imagen N° 2. Escenarios de Accidentes.	55
Imagen 3. Área Portuaria de bahía Blanca.	58
Imagen 4. Rotonda N° 1.	62
Imagen 5. Rotonda N° 2.	63
Imagen 6. Rotonda 1: Curvas de Consecuencias para Sobrepresión (GLP).	79
Imagen 7. Rotonda 2: Curvas de Consecuencias para Sobrepresión (GLP).	80
Imagen 8. Rotonda 1: Curvas de Consecuencias para Radiación por BLEVE (GLP).	80
Imagen 9. Rotonda 2: Curvas de Consecuencias para Radiación por BLEVE (GLP).	81
Imagen 10. Rotonda 1: Curvas de Consecuencias para	85

---

Sobrepresión (Gasolina).	
Imagen 11. Rotonda 2: Curvas de Consecuencias para Sobrepresión (Gasolina).	85
Imagen 12. Rotonda 1: Curvas de Consecuencias para Sobrepresión (Etileno).	89
Imagen 13. Rotonda 2: Curvas de Consecuencias para Sobrepresión (Etileno).	89
Imagen 14. Rotonda 1: Curva de Consecuencias para Dispersión (Etileno).	90
Imagen 15. Rotonda 2: Curva de Consecuencias para Dispersión (Etileno).	91
Imagen 16. Rotonda 1: Curva de Consecuencias para Dispersión (Cloro <sub>2</sub> ).	95
Imagen 17. Rotonda 2: Curva de Consecuencias para Dispersión (Cloro <sub>2</sub> ).	95
Imagen 18. Rotonda 1: Curva de Consecuencias para Dispersión (Oxígeno).	98
Imagen 19. Rotonda 2: Curva de Consecuencias para Dispersión (Oxígeno).	98
Imagen 20. Vía de Ingreso Sugerida.	120

## SIGLAS UTILIZADAS

<b>AIChE</b>	American Institute of Chemical Engineers
<b>ALARP</b>	As Low As Reasonable Practical
<b>APELL</b>	Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level
<b>API</b>	American Petroleum Institute
<b>ARPCA</b>	Asesores en Riesgos de Procesos C.A.
<b>BLEVE</b>	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion
<b>CCPS</b>	Center for Chemical Process Safety
<b>CETESB</b>	Companhia Ambiental do Estado de Sao Paulo

<b>CTE</b>	Comité Técnico Ejecutivo
<b>DEGADIS</b>	Dense Gas Dispersion
<b>EEUU</b>	Estados Unidos
<b>EIN</b>	Evento Inicial
<b>EPA</b>	Environmental Protection Agency
<b>ERPG</b>	Emergency Response Planning Guidelines
<b>GLP</b>	Gas Licuado de Petróleo
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>IDLH</b>	Immediately Dangerous to Life and Health
<b>INDEC</b>	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
<b>INSHT</b>	Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
<b>IS</b>	Índice de Stanford
<b>LGN</b>	Líquidos de Gas Natural
<b>LPG</b>	Liquefied Petroleum Gas
<b>MERCOSUR</b>	Mercado Común del Sur
<b>NIOSH</b>	National Institute of Occupational Safety and Health
<b>NFPA</b>	National Fire Protection Agency
<b>OSHA</b>	Occupational Safety and Health Administration
<b>PBB</b>	Petroquímica Bahía Blanca
<b>PVC</b>	Polyvinylchloride
<b>PVDSA</b>	Petróleos de Venezuela Sociedad Anónima
<b>TNT</b>	Trinitrotolueno
<b>UVCE</b>	Unconfined Vapour Cloud Explosion
<b>VCE</b>	Vapour Cloud Explosion
<b>VCM</b>	Vinyl Chloride Monomer
<b>VLA-ED</b>	Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria
<b>VROM</b>	Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer

## RESUMEN

La ciudad de Bahía Blanca presenta un área industrial en permanente crecimiento, implicando un aumento del parque automotor, fundamentalmente en lo que respecta al transporte de materias primas e insumos para los procesos industriales que allí se desarrollan. Este progreso se concatena con un aumento demográfico sostenido que necesita obligatoriamente una vivienda que podría estar ubicada en proximidades de vías de acceso a zonas industriales.

El presente trabajo tiene como objetivo principal demostrar que la presencia de sustancias químicas en tránsito en el acceso al sector industrial de Bahía Blanca genera un riesgo importante en determinados sectores, donde la población ha edificado sus viviendas en cercanías de grandes empresas y accesos.

El estudio contempla un marco metodológico, un marco teórico, un marco legal de referencia, descripción del área de estudio, identificación de amenazas y vulnerabilidades, características de las sustancias químicas seleccionadas, la designación de escenarios de accidentes y su evaluación mediante modelos matemáticos, construcción de árboles de eventos, estimación de frecuencias y consecuencias de accidentes de camiones con sustancias químicas, estimación del riesgo presente, simulaciones de accidentes y recomendaciones finales.

Se utilizan como herramientas de cálculo planillas Excel donde se vuelcan datos en fórmulas predeterminadas, aportadas por el CCPS (Chemical Process Quantitative Risk Analysis), obteniéndose valores que luego se vuelcan en tablas específicas de riesgo y consecuencia.

Como resultado de la estimación de riesgos y consecuencias por la presencia de transportes de sustancias peligrosas en el área industrial de Bahía Blanca, se concluye la necesidad de adoptar medidas complementarias para minimizar el riesgo presente y las consecuencias ante un evento catastrófico.

### Palabras clave:

Sustancia Química, Tránsito, Peligro, Riesgo, Riesgo Individual, Amenaza, Vulnerabilidad.

## INTRODUCCIÓN

El marco geográfico del trabajo corresponde al área industrial de la ciudad de Bahía Blanca. A través del Camino de Acceso a Puertos circulan diariamente camiones cisternas que transportan gran diversidad de sustancias potencialmente peligrosas para la salud humana, la propiedad y el medio ambiente en general. Consecuentemente, existe una probabilidad no nula que ocurra un accidente de tránsito en el que se encuentre involucrado un transporte con sustancias peligrosas que genere perjuicios para las poblaciones vecinas y medio ambiente.

Por ello, la hipótesis de trabajo a demostrar en la investigación plantea que *“La presencia masiva de sustancias químicas en tránsito en las vías de acceso al área industrial de Bahía Blanca genera un riesgo ambiental en el sector comprendido por la calle Santa Cruz, la Avenida General Arias, la Avenida 18 de Julio, el Canal Maldonado y la Ruta N° 252”*.

Para demostrar este supuesto se plantearon los siguientes objetivos:

### Objetivo General

- ✚ Demostrar que la presencia de sustancias químicas en tránsito en el acceso al sector industrial de Bahía Blanca genera un riesgo ambiental para el área comprendida entre la calle Santa Cruz, la Avenida General Arias, la Avenida 18 de Julio, el Canal Maldonado y la Ruta N° 252.

### Objetivos Específicos

- ✚ Evaluar posibles escenarios que impliquen un evento accidental derivado del transporte de sustancias en tránsito y sus consecuencias.
- ✚ Determinar mediante fórmulas matemáticas reconocidas el riesgo que significa la presencia sistemática de camiones de transporte de sustancias inflamables y peligrosas.
- ✚ Describir las amenazas (accidentes con camiones que transportan sustancias químicas) y las vulnerabilidades (físicas, económicas, sociales, políticas, técnicas, culturales, educativas, ideológicas, ecológicas e institucionales) que presenta la circulación de camiones para el área comprendida entre las calles



Santa Cruz, Avenida General Arias, Avenida 18 de Julio, el Canal Maldonado y la Ruta N° 252.

- Identificar medidas que minimicen el riesgo en el transporte de sustancias químicas (inflamables y/o peligrosas).

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL UTN-FRBB

Capítulo 1  
**MARCO METODOLÓGICO**

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL UTN-FRBB

## 1. MARCO METODOLÓGICO

### 1.1 - Universo de Estudio

El universo de estudio es el sector comprendido por la calle Santa Cruz, la Avenida General Arias, la Avenida 18 de Julio, el Canal Maldonado y la Ruta N° 252 de la ciudad de Bahía Blanca, República Argentina; donde se evaluaron registros de transporte de sustancias químicas por vía terrestre de los años 2008 y 2009. No se contempla tránsito de pasajeros, cereales, ganado o mercancías en general.

### 1.2 - Fuentes

Las fuentes utilizadas para el relevamiento de la información son las siguientes:

#### a) Fuentes Primarias

##### a.1) Observación Directa:

a.1.1) Relevamiento in situ de las vías de acceso al sector industrial de Bahía Blanca, contemplando longitud de la misma, estado, cartelera preventiva, ancho de la ruta, demarcaciones, cruces (Anexo I).

a.1.2) Relevamiento fotográfico del área de estudio y registro de coordenadas.

##### a.1.2.1) Registro de observaciones

-Salida a campo N°1: 14/06/10

-Salida a campo N°2: 04/10/10

-Salida a campo N°3: 09/11/10

-Salida a campo N°4: 02/05/15

a.1.3) Observación directa del flujo de camiones que ingresan o egresan al sector industrial de Bahía Blanca. El análisis comprendió tres períodos similares de tiempo en tres franjas horarias diferentes donde se tuvo en cuenta la cantidad de camiones que transitaban por las rotondas en estudio, hacia que punto se dirigían y que químicos transportaban (Anexo II).

Se destaca que no se accedió a información de organismos oficiales locales sobre estadística de tránsito de vehículos en el área de estudio.

a.1.4) Geoposicionamiento referencial de los puntos en que se tomaron fotos y de las rotondas seleccionadas como punto-escenario.

a.2) Entrevista:

a.2.1) Se elaboró un cuestionario de entrevista para la obtención de información sobre la situación actual del transporte de sustancias químicas en el sector industrial de Bahía Blanca y las vías de acceso al polo Petroquímico. El cuestionario original, así como las entrevistas respondidas y firmadas por los encuestados, se adjuntan en el Anexo III. En el mismo anexo se procesa la información que deriva luego en las conclusiones pertinentes.

a.3) Cálculos Matemáticos:

a.3.1) Estimación de consecuencias y análisis de riesgo mediante la utilización de modelos matemáticos para “Escape de un Gas por un Orificio, Escape de Líquidos, Descarga de Flujo en dos Fases, Evaporación Violenta (Flash) y Evaporación Normal, Incendio en Charco o Recinto, Dardo de Fuego, Modelo Equivalente TNT, Dispersión de Nubes de Vapor, Fogonazo, Blevé”.

Estos modelos corresponden a ecuaciones implementadas en planillas de cálculo Excel provistas por el CCPS sobre mecánica de fluidos, ecuaciones semiempíricas del AIChE, ecuación de Fourier, ecuación de Opschoor, modelo gaussiano de dispersión y modelo del equivalente en TNT (trinitrotolueno). Los cálculos en las planillas Excel se adjuntan en el Anexo V.

En el Anexo VII se presentan simulaciones realizadas con el programa ALOHA y un cuadro comparativo con los valores obtenidos a partir de la utilización de modelos matemáticos implementados en las planillas Excel.

## **b) Fuentes Secundarias**

b.1) Documentos:

b.1.1) Registros del transporte de sustancias químicas en el área industrial y portuaria de Bahía Blanca aportado por el Comité Técnico Ejecutivo (CTE). El informe se presenta en el Anexo VIII.

b.2) Cartografía:

b.2.1) Mapas del área en estudio.

b.2.2) Página web de Google Earth

b.3) Estadísticas:

b.3.1) Registros de población obtenidos de la página web del INDEC (año 2010).

b.4) Notas Periodísticas:

b.4.1) Publicaciones sobre accidentes viales en la región involucrando transportes de sustancias químicas (Anexo IX).

b.5) Ley Nacional de Tránsito N° 24449 (Los artículos destacados se pueden observar en Anexo X).

### **1.3 – Instrumentos**

Instrumento utilizado en el proceso de investigación:

GPS GARMIN Ultra-thin Navigator

Capítulo 2  
**MARCO TEÓRICO**

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL UTN-FRBB

## 2. MARCO TEÓRICO

Para dar soporte a la investigación se realizó un marco teórico sobre los siguientes conceptos:

### **Sustancias Químicas:**

Joseph Proust a finales del s. XVIII ya mencionaba el concepto de sustancia química para referirse a “cualquier sustancia con una composición definida, sin importar de donde provenga, que presenta unas propiedades que la hacen reconocible”.

Para esta investigación, el término “sustancias químicas” refiere específicamente a aquellas que, por sus características físico químicas (inflamabilidad, toxicidad, etc.), pudieran generar incendios, explosiones, desplazamiento de oxígeno o fugas tóxicas. En particular, se tomarán en cuenta el Gas Licuado de Petróleo, el Etileno, la Gasolina, el Cloro y el Oxígeno Líquido.

### **Tránsito:**

Se define como el desplazamiento de vehículos y personas a lo largo de las vías de circulación bajo un sistema convencional de normas.

### **Peligro:**

La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA), define el peligro como una “fuente o situación con el potencial de daño en términos de lesiones o enfermedades, daño a la propiedad, daño al ambiente de trabajo o la combinación de ellos”.

### **Riesgo:**

Lavell, A. (1996) define riesgo como “la probabilidad de que a una población (personas, estructuras físicas, sistemas productivos, etc.), o segmento de la misma, le ocurra algo nocivo o dañino. Para que exista un riesgo debe haber tanto una amenaza (o, como algunos dirían, un peligro) como una población vulnerable a sus impactos, siendo la vulnerabilidad la propensión de sufrir daños que exhibe un componente de la estructura social (o la naturaleza misma). El riesgo es, en consecuencia, una condición latente o potencial, y su grado depende de la intensidad probable de la amenaza y de los niveles de vulnerabilidad existentes”.

Para Luhmann, N. (1996), el concepto de riesgo se refiere a “la posibilidad de daños futuros debido a decisiones particulares. Las decisiones que se toman en el presente condicionan lo que acontecerá en el futuro, aunque no se sabe de que modo”. Por lo tanto, indica que el riesgo depende de la atribución de los daños (posibles o efectivamente decididos) debido a una resolución que se toma en el sistema.

El riesgo puede ser entendido como un concepto multifacético que comprende aspectos tanto cualitativos como cuantitativos.

Mir (1999) indica que “la palabra riesgo se utiliza con diversas acepciones: contingencia desfavorable a la que está expuesto alguien o alguna cosa, incertidumbre derivada del ejercicio de una actividad empresarial, peligro incierto, etc”.

“La noción de riesgo en el lenguaje coloquial está asociada a la posibilidad de ocurrencia bajo determinadas circunstancias de una lesión, enfermedad o la muerte y se entiende por riesgo ambiental a la probabilidad de que ocurra un efecto adverso a nivel individual o poblacional, por la exposición a concentraciones elevadas o por dosis específicas de un agente ambiental peligroso”. (Godoy, S., 2010)

### **Riesgo Individual:**

Considine (1984) define el riesgo individual como el riesgo hacia una persona por estar cerca de un peligro. Esto incluye la naturaleza de la lesión en el individuo, la probabilidad de que ocurra una lesión, y el período de tiempo durante el cual pueda ocurrir el daño.

En esta tesis se adoptará el concepto de “Riesgo” desde el punto de vista del Riesgo Individual.

### **Amenazas:**

Según Cardona, O. (1997), “las amenazas son un factor de riesgo externo de un sujeto o sistema, presentado por un peligro latente asociado con un fenómeno o la combinación de varios fenómenos de origen natural, social o tecnológico, o provocados por el hombre, que pueden manifestarse en un sitio específico y en un tiempo determinado, produciendo efectos adversos en las personas, los bienes y /o el medio ambiente”.



Lavell, A. (1994) realiza una clasificación de las amenazas posibles, proponiendo cuatro categorías básicas: natural, socio natural, antrópico tecnológica, y antrópico contaminante.

“Amenaza natural: derivada de las manifestaciones naturales de la dinámica terrestre y atmosférica (ej. Actividades volcánicas, erosión terrestre y costera, granizados, tornados, etc.), comprenden parte del medio ambiente natural del ser humano, quién ni incide (en sentido significativo) en su aparición, ni puede intervenir (con ciertas excepciones) para que no sucedan.

Amenaza socio natural: son amenazas naturales que se producen o acentúan por algún tipo de intervención humana sobre la naturaleza, y en ocasiones se pueden confundir con eventos naturales (ej. inundaciones, incendios rurales, sequías, agotamiento de acuíferos, etc.).

Amenaza antrópico tecnológica: derivadas de la posibilidad de fallas de los procesos de producción y distribución industrial modernos por negligencia, falta de controles adecuados e imprevisión de la ciencia, genera una serie de amenazas cuya concreción, aun cuando afecte a extensiones territoriales limitadas, puede generar impacto en gran número de pobladores, debido a la densidad de la ocupación humana en zonas circundantes a la fuente de la amenaza. Por ejemplo accidentes de Chernobyl y Trhee Mile Islands (plantas nucleares), Bophal (planta química), etc.; y otros casos de amenazas como resultado de fallas en los sistemas eléctricos.

Amenaza antrópico contaminante: “son amenazas que toman la forma de elementos de la naturaleza, transformados” (aire, agua y tierra) (...) estas amenazas se relacionan principalmente con los procesos de contaminación derivados de derrames, dispersiones o emisiones de sustancias químico-tóxicas hacia el aire, tierra y agua, como es el caso del petróleo, de plaguicidas, los gases tóxicos producto de la combustión, los clorofluorocarbonos y la contaminación nuclear. En general, estas amenazas son producto o de la negligencia y de la falta de controles (legales o tecnológicos), aún cuando estos existan en teoría, o de diversos tipos de "accidente" (concepto que siempre implica algún grado de negligencia). Son producto de la falta de control sobre los procesos económicos de producción y distribución”.

Lavell, A. (1994), a su vez, manifiesta que la vulnerabilidad es un factor de riesgo interno que depende siempre del tipo e intensidad de la amenaza, por lo cual no puede tener un valor absoluto. Además, el grado de riesgo está siempre en función de la magnitud de la amenaza y de la vulnerabilidad, por lo tanto es una condición dinámica, cambiante y controlable.

### **Vulnerabilidades:**

Los componentes o niveles de la vulnerabilidad fueron identificados en el año 1989 por Wilches-Chaux, G. (en Cifuentes, O. 2000) como:

Vulnerabilidad física: se refiere a la localización de grandes contingentes de la población en zonas de riesgo físico; condición suscitada en parte por la pobreza y la falta de opciones para una ubicación menos riesgosa, y por otra, debido a la alta productividad (particularmente agrícola) de un gran número de estas zonas (faldas de volcanes, zona de inundación de ríos, etc.), lo cual tradicionalmente ha incitado el poblamiento de las mismas.

Vulnerabilidad económica: se refiere al problema de la dependencia económica nacional, la ausencia de presupuestos adecuados, públicos nacionales, regionales y locales, la falta de diversificación de la base económica, etc.

Vulnerabilidad social: referida al bajo grado de organización y cohesión interna de comunidades bajo riesgo, que impiden su capacidad de prevenir, mitigar o responder a situaciones de desastres.

Vulnerabilidad política: en el sentido del alto grado de centralización en la toma de decisiones y en la organización gubernamental, y la debilidad en los niveles de autonomía para decidir en los niveles regionales, locales y comunitarios, lo cual impide una mayor adecuación de las acciones a los problemas sentidos en estos niveles territoriales.

Vulnerabilidad técnica: referida a las técnicas inadecuadas de construcción de edificios e infraestructura básica utilizada en zonas de riesgo.

Vulnerabilidad ideológica: referida a la forma en que los hombres conciben el mundo y el medio ambiente que habitan y con el cual interactúan. La pasividad, el fatalismo, la prevalencia de mitos, etc., todos estos factores aumentan la vulnerabilidad de las poblaciones, limitando su capacidad de actuar adecuadamente frente a los riesgos.

Vulnerabilidad cultural: expresada en el papel que desempeñan los medios de comunicación en la transmisión de información desviante sobre el medio ambiente y los potenciales o reales desastres.

Vulnerabilidad educativa: en el sentido de la ausencia, en los programas de educación, de elementos que instruyan adecuadamente sobre el medio ambiente o el entorno que habitan los pobladores, su equilibrio o desequilibrio, etc. Además, se refiere al grado de preparación que recibe la población sobre formas de un comportamiento adecuado a nivel individual, familiar y comunitario en caso de amenaza u ocurrencia de situaciones de desastre.

Vulnerabilidad ecológica: relacionada con la forma en que los modelos de desarrollo no se fundamentan en la conveniencia, sino en la dominación por la vía de la destrucción de las reservas del ambiente (que necesariamente conduce) o ecosistemas que por una parte resultan altamente vulnerables internamente para compensar los efectos directos o indirectos de la acción humana, y por otra, altamente riesgosos para las comunidades que lo explotan o habitan.

Vulnerabilidad institucional: reflejada en la obsolescencia y rigidez de las instituciones, especialmente las jurídicas, donde la burocracia, la prevalencia de la decisión política, el dominio de criterios personalistas, etc., impiden respuestas adecuadas y ágiles a la realidad existente”.

Las distintas combinaciones de estos niveles de vulnerabilidad tienen un diferente efecto en términos de impacto de un evento físico en una matriz humana particular. La vulnerabilidad es esencialmente una condición humana, una característica de la estructura social y un producto de procesos sociales históricos. (Lavell, A. 1994).

Wilches-Chaux, G. (2008) indica que una comunidad es socialmente vulnerable en la medida en que las relaciones que vinculan a sus miembros entre sí y con el conjunto social no pasen de ser meras relaciones de vecindad física, en la medida en que estén ausentes los sentimientos compartidos de pertenencia y de propósito, y en la medida en que no existan formas de organización de la sociedad civil que encarnen esos sentimientos y los traduzcan en acciones concretas. Un síntoma de vulnerabilidad social es la ausencia de liderazgo efectivo en una comunidad, de personas u organizaciones capaces de impulsar en la comunidad los sentidos (y las prácticas) de coherencia y de propósito, de pertenencia y de participación, de confianza ante la crisis y de seguridad dentro del cambio; de fomentar la creatividad; de promover, mediante la práctica social, el descubrimiento de los valores de autonomía, de solidaridad, de dignidad y de trascendencia; contribuyendo a forjar la identidad individual y social de la comunidad y de sus miembros, y a partir de allí, a descubrir y desarrollar sus potencialidades para construir una sociedad nueva a partir de la crisis.

En el contexto de esta tesis el concepto de vulnerabilidad se refiere específicamente a los daños producidos sobre personas y/o bienes por la radiación, sobrepresión y/o concentración tóxica generada por un accidente en la zona de estudio definida y que puede ser agravada por los distintos tipos de vulnerabilidades definidas previamente.

## **2.1 - Modelos Matemáticos para la Estimación de Consecuencias**

Para el desarrollo de la tesis se recurre a modelos matemáticos de estimación de consecuencias, definidos para un determinado rango de aplicación, que presentan algunas limitaciones, las que se mencionarán oportunamente.

Entre ellos, se aplican los modelos enunciados por CCPS (1989), los que se transcriben a continuación:

### **2.1.1) Escape de un Gas por un Orificio (CCPS, 1989)**

La descarga de un gas o vapor sometido a presión se calcula normalmente utilizando ecuaciones estándar para flujo de gas. La cantidad de fluido que se fuga por un

orificio cualquiera va a depender del régimen del flujo, del área de la fuga, de la condición termodinámica y química del gas. Las ecuaciones para el modelaje de este tipo de fuga son las planteadas por Crowl, D. y Louvar, J. (1990).

Existen dos regímenes de flujo, flujo subsónico y supersónico. La transición de un régimen a otro ocurre a una relación de presiones determinadas, cuyas componentes son:

$$r_{crit} = \frac{P_0}{P_{ext}} = \left( \frac{K+1}{2} \right)^{\frac{K}{K-1}}$$

Donde:

$r_{crit}$ : Razón crítica

$P_0$ : Presión absoluta del recipiente (Pa)

$P_{ext}$ : Presión Atmosférica (Pa)

K: Relación de calores específicos del gas (Cp/Cv) (-)

### 2.1.1.a) Régimen Subsónico:

El régimen se considera subsónico cuando la velocidad del gas a través del orificio es inferior a la velocidad del sonido en dicho gas.

Cuando  $(P_{ext} / P_0) > r_{crit}$  el flujo es subsónico.

$$Q_m = C_0 A P_0 \sqrt{\frac{2g_c M}{R_g T_0} \frac{K}{(K-1)} \left[ \left( \frac{P_{ext}}{P_0} \right)^{\frac{2}{K}} - \left( \frac{P_{ext}}{P_0} \right)^{\frac{K-1}{K}} \right]}$$

En este régimen, el caudal másico del gas a través del orificio ( $Q_m$ ) depende de  $P_0$  y  $P_{ext}$ .

Donde:

$Q_m$ : Tasa de flujo (Kg/s)

$C_0$ : Coeficiente de descarga (adimensional)

A: Área del orificio (m<sup>2</sup>)

$P_0$ : Presión absoluta de la fuente (Pa)

$g_c$ : Constante gravitacional ( $1(\text{Kg m/s}^2)/\text{N}$ )

$M$ : Peso molecular ( $\text{Kg}/\text{Kg mol}$ )

$R_g$ : Constante de los gases ( $8,1314 \text{ J/mol K}$ )

$T_0$ : Temperatura de la fuente ( $\text{K}$ )

El coeficiente de descarga ( $C_0$ ) es el resultado de una función que relaciona el número de Reynolds, el tipo de gas que se fuga por el orificio y del diámetro del orificio. Normalmente se encuentra entre 0,7 y 0,9.

### 2.1.1.b) Régimen Sónico:

En la mayoría de las situaciones reales, la presión de almacenamiento de los gases supera el valor correspondiente al régimen subsónico, por lo que resulta habitual que la fuga a través del orificio comience en régimen sónico; también denominado crítico, que ocurre siempre que se verifique la situación contraria a la anterior, esto es cuando:

Cuando  $(P_{\text{ext}} / P_0) < r_{\text{crit}}$  el flujo es sónico.

$$Q_m = C_0 A P_0 \sqrt{\left[ \frac{K g_c M}{R_g T_0} \left[ \frac{2}{k+1} \right]^{\frac{K+1}{K-1}} \right]}$$

### 2.1.2) Escape de Líquidos (CCPS, 1989)

Si en vez de escapar gas a la atmósfera, se produce una fuga de líquido, la tasa de descarga va a depender principalmente de la velocidad y área de la fuga.

#### 2.1.2.a) Escape de Líquidos por Orificios:

Según Crowl, D. y Louvar, J. (1990), la tasa de flujo es:

$$Q_m = A C_0 \sqrt{(2 \rho g_c P_g)}$$

Donde:

$Q_m$ : Tasa de flujo (Kg/s)

$A$ : Área del orificio ( $m^2$ )

$C_0$ : Coeficiente de descarga (adimensional)

$g_c$ : constante gravitacional ( $1 \text{ (Kg m/s}^2\text{)/N}$ )

$P_g$ : Presión manométrica sobre la superficie del fluido (Pa)

$\rho$ : Densidad del fluido ( $\text{Kg/m}^3$ )

El coeficiente de descarga  $C_0$  es el resultado de una función del número de Reynolds, del tipo de líquido que se fuga por un orificio y del diámetro del agujero. Normalmente se encuentra entre 0,6 y 0,8.

### 2.1.2.b) Escape de Líquidos por Agujeros en Tanques:

La tasa de flujo a través del orificio de un tanque se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$Q_m = \rho A C_0 \sqrt{2 \left[ \frac{g_c P_g}{\rho} + g_c h_L \right]} - \frac{\rho g_c C_0^2 A^2}{A_t} t$$

Donde:

$Q_m$ : Caudal (Kg/s)

$A$ : Área del orificio ( $m^2$ )

$C_0$ : Coeficiente de descarga (adimensional)

$g_c$ : Constante gravitacional ( $1 \text{ (Kg m/s}^2\text{)/N}$ )

$P_g$ : Presión manométrica sobre la superficie del fluido (Pa)

$\rho$ : Densidad del fluido ( $\text{Kg/m}^3$ )

$h_L$ : Altura de líquido inicial (m)

$t$ : Tiempo (s)

$A_t$ : Área sección transversal del recipiente ( $m^2$ )

Si el líquido es transportado o almacenado a presión por encima del punto de ebullición, la fuga resulta en una corriente de líquido que parcialmente se evaporará instantáneamente, o que formará pequeñas gotas en forma de aerosol que serán

transportadas por el viento. La fracción de líquido evaporada instantáneamente está dada por la Ecuación de Crowl, D. y Louvar, J. (1990):

$$F_{vap} = \frac{C_p(T_0 - T_b)}{\Delta H_v}$$

Donde:

$F_{vap}$ : Fracción de líquido evaporada (adimensional)

$C_p$ : Capacidad calorífica del líquido (J/Kg K)

$T_0$ : Temperatura del líquido (K)

$T_b$ : Temperatura de ebullición del líquido (K)

$\Delta H_v$ : Calor latente de vaporización (J/Kg)

Si  $F_{vap} > 1$ , el líquido se vaporiza totalmente antes de alcanzar la presión atmosférica, es decir, antes de que la fuga escape al exterior. En este caso, se deberá calcular la temperatura y presión de vapor correspondientes, y aplicar las fórmulas de cálculo para escapes de gases, o vapores bajo diferencia de presión remanente.

Si  $F_{vap} < 1$ , parte del líquido se vaporiza instantáneamente al salir a la atmósfera. En cambio, si se produce el derrame del líquido sin evaporarse instantáneamente, se formará un charco que luego tendrá una tasa de evaporación que dependerá de las condiciones termodinámicas del líquido, por los calores absorbidos por el líquido de los alrededores y por las condiciones atmosféricas (velocidad del viento y estabilidad atmosférica).

El área del charco (extensión del derrame) para fugas continuas puede ser calculada mediante la siguiente ecuación:

$$A_p = \frac{Vt}{h_m}$$

Donde:

$A_p$ : Área del charco (m<sup>2</sup>)

$V$ : Caudal volumétrico (m<sup>3</sup>/s)

$t$ : Tiempo (s)



$h_m$ : Profundidad del charco (m). Para concreto se aproxima a  $5,0 \times 10^{-3}$  m., y para grava se aproxima a  $10,0 \times 10^{-3}$  m.

La tasa de vaporización para líquidos volátiles está dada por:

$$Q = Ku\rho \frac{P_v}{P_a} = \left( \frac{2}{u^2 D_p} \right)^{n_c}$$

Donde:

Q: Tasa de evaporación (Kg/s)

K: Constante (adimensional)

$\rho$ : Densidad del vapor (Kg/m<sup>3</sup>)

$P_a$ : Presión atmosférica (bar)

$P_v$ : Presión de vapor del líquido (Kg/m<sup>2</sup>)

$D_p$ : Diámetro del charco (m)

$n_c$ : Índice de evaporación (adimensional)

u: Velocidad del viento (m/s)

Las constantes K y  $n_c$  están en función de la velocidad del viento y la estabilidad. En términos de las categorías de estabilidad de Pasquill F. (1974) para unidades en el Sistema Métrico los valores son:

Estabilidad Pasquill	$n_c$	K	Descripción Típica
A	0,078	$1,0 \times 10^{-3}$	Clima muy soleado
B	0,091	$1,2 \times 10$	Soleado y caluroso
C	0,111	$1,5 \times 10$	Parcialmente nublado en el día
D	0,130	$1,7 \times 10$	Nublado día y noche
E	0,149	$1,8 \times 10$	Parcialmente nublado en la noche
F	0,180	$1,0 \times 10$	Noche clara

Tabla 1. Estabilidades de Pasquill. Fuente: Pasquill, F. (1974)

Si el producto liberado es inflamable y se produce una ignición, se origina un incendio. Los modelos empleados para calcular los niveles de radiación térmica emitidos por el incendio, van a depender de la manera como se presentan estos, ya sean en forma de charcos incendiados, de chorros incendiados o en otra forma de fognazos.

### 2.1.3) Descarga de Flujo en dos Fases (CCPS, 1989)

Una descarga de flujo de dos fases se presenta cuando un líquido presurizado a una temperatura superior a su punto de ebullición normal, es liberado a presión atmosférica. El líquido comenzará a evaporarse dando como resultado un flujo de dos fases. El flujo de dos fases también ocurre como producto de la despresurización del espacio de vapor encima de un líquido volátil, especialmente si el líquido es viscoso (mayor que 500 cP) o tiene una tendencia a formar espuma.

Los flujos de dos fases pueden clasificarse en reactivos o no reactivos. El caso reactivo es típico de alivios de emergencia de reacciones exotérmicas.

El caso no reactivo involucra la evaporación de líquidos cuando estos son descargados desde el recipiente. Para esto se requiere tener en cuenta dos consideraciones:

- ❑ Si el líquido es subenfriado, el flujo alcanzará su mayor tasa de descarga a su presión de vapor de saturación a temperatura ambiente.
- ❑ Si el líquido es almacenado por debajo de su propia presión de vapor.

Las dos situaciones son consideradas en la siguiente expresión (Fauske, H. y Epstein, M. 1987):

$$m = A \sqrt{G_{SUB}^2 + \frac{G_{ERM}^2}{N}}$$

Donde:

m: Descarga de un líquido saturado ó sub-enfriado (Kg/s)

A: Área de la descarga (m<sup>2</sup>)

G<sub>SUB</sub>: Flujo sub-enfriado (Kg/m<sup>2</sup>s)

G<sub>ERM</sub>: Flujo en equilibrio (Kg/m<sup>2</sup>s)

N: Parámetro de desequilibrio (adimensional)

Las propiedades son evaluadas a temperatura y presión de almacenamiento.

El flujo másico del líquido subenfriado está dado por:

$$G_{SUB} = C_0 \sqrt{2 \rho_f g_c (P - P^{sat})}$$

Donde:

$C_0$ : Coeficiente de descarga (adimensional)

$\rho_f$ : Densidad del líquido (Kg/m<sup>3</sup>)

$g_c$ : Constante gravitacional (1mKg/Ns<sup>2</sup>)

$P$ : Presión de almacenamiento (Pa)

$P^{sat}$ : Presión de saturación del líquido a T ambiente (Pa)

Para líquidos saturados, el equilibrio es alcanzado si el tamaño de la cañería que presenta la fuga es mayor que 0,1 m y el lugar donde se encuentra el orificio está a una longitud mayor que 10 diámetros con respecto al tanque. La tasa de descarga viene dada por la ecuación de Crowl, D. y Louvar, J. (1990):

$$G_{ERM} = \frac{h_{fg}}{v_{fg}} \sqrt{\frac{g_c}{TC_p}}$$

Donde:

$h_{fg}$ : Entalpía de vaporización (J/Kg)

$v_{fg}$ : Volumen específico entre el líquido y el vapor (m<sup>3</sup>/Kg)

$T$ : Temperatura de almacenamiento (K)

$C_p$ : Capacidad calorífica del líquido (J/Kg K)

El parámetro de desequilibrio  $N$ , cuantifica el efecto de la distancia. Para distancias cortas, ocurre una situación de desequilibrio y el líquido no tiene suficiente tiempo de evaporarse durante la descarga. El proceso de evaporación ocurre después de la descarga y la tasa de líquido vendrá dada por la ecuación que modela el escape de líquidos por orificios. Para distancias mayores que 0,1 m, el líquido alcanza el estado de equilibrio y entra en flujo bifásico a la presión de vapor de saturación. El efecto de desequilibrio viene expresado por la ecuación de Fauske, H. y Epstein, M. (1987):

$$N = \frac{h_{fg}^2}{2\Delta P \rho_f C_0^2 v_{fg}^2 TC_p} + \frac{L}{L_c}$$

Donde:

N: Parámetro de desequilibrio (adimensional)

$\Delta P$ : Diferencia total de presión disponible (Pa)

L: Longitud de la tubería (m)

$L_C$ : Distancia para condiciones de equilibrio (usualmente 0,1 m)

Para  $L = 0$  estas ecuaciones se reducen a la ecuación que describe la descarga de un líquido a través de un orificio.

#### 2.1.4) Evaporación Violenta (Flash) y Evaporación Normal (CCPS, 1989)

El propósito de los modelos de evaporación violenta (flash) y evaporación es estimar la fracción de líquido que se vaporiza para formar una nube para luego utilizarla como entrada en los modelos de dispersión.

Los líquidos sobrecalentados se evaporan súbitamente al escapar a la atmósfera. El vapor producido puede contener una cantidad de líquido en forma de gotas, una parte de este líquido puede caer a la superficie como rocío y otra parte puede permanecer suspendida como aerosol.

El líquido remanente en ebullición forma un charco el cual continua evaporándose, añadiendo vapor adicional al aire.

Una descarga de propano líquido, constituye un ejemplo de una fuga de un líquido sobrecalentado desde un recipiente presurizado a temperatura ambiente.

Durante la evaporación súbita de un líquido sobrecalentado, una fracción significativa del líquido permanece atrapada como aerosol. Eventualmente, las gotas grandes caen al suelo y las pequeñas se vaporizan debido a la entrada de aire caliente a la nube. En algunas circunstancias las gotas de aerosol que caen a la superficie, se evaporan tan rápidamente que toda la descarga forma parte de la nube inmediatamente. En otros casos, la cantidad de líquido es tan grande que enfría toda la superficie lo suficiente para reducir la evaporación del charco.

La fracción de líquido evaporado en los escapes de líquidos sobrecalentados puros puede ser obtenida con los diagramas de Mollier, R. (1923) de entalpía - presión. A continuación se presenta la ecuación estándar para la evaporación de líquidos:

$$F_V = C_p \frac{(T - T_b)}{h_{fg}}$$

Donde:

$F_v$ : Fracción de líquido evaporado del escape (adimensional)

$C_p$ : Capacidad Calorífica promedio entre T y  $T_b$  (J/Kg K)

T: Temperatura inicial del líquido (K)

$T_b$ : Punto de ebullición atmosférico del líquido (K)

$h_{fg}$ : Calor latente de vaporización del líquido a  $T_b$  (K)

La fracción de líquido evaporada del escape  $F_v$  es una estimación pobre de la masa total del material en la nube de vapor, debido a la posible presencia de aerosol entrampado. Este aerosol tiene efectos muy importantes en la dispersión de nubes tales como:

- La nube tendrá una masa total mayor
- La densidad de la nube aumentará

En general, las cantidades significativas de vapor se forman sólo si el punto de ebullición del líquido derramado está por debajo de la temperatura ambiente. Los líquidos refrigerados al escapar y caer sobre la superficie circundante, producen al principio una gran evaporación, que luego va disminuyendo debido al enfriamiento de esta superficie.

Los líquidos volátiles (líquidos con alta presión de vapor) al escapar, pueden formar una emisión considerable de gas debido a la evaporación superficial del charco resultante. Un ejemplo es una fuga de tolueno, benceno o alcohol. La evaporación del charco es determinada por medio de un balance global de energía.

$$mC_p \frac{dT}{dt} = H - Lm^*$$

Donde:

m: Masa del charco (Kg)

$C_p$ : Calor específico del líquido (J/Kg K)

T: Temperatura del líquido del charco (K)

t: Tiempo (s)

H: Flujo de calor (J/s)

L: Calor de vaporización del líquido (J/Kg)

$m^*$ : Tasa de evaporación (Kg/s)

A los efectos de modelar la evaporación, los líquidos pueden ser clasificados como de alta y baja volatilidad. Los líquidos de alta volatilidad son aquellos que tienen un punto de ebullición similar o menor que la temperatura ambiente o del terreno.

En los líquidos de alta volatilidad, la tasa de evaporación del charco es controlada por la transferencia de calor (conducción) del suelo, el aire (conducción y convección), el sol (radiación) y otras fuentes de calor cercanas (incendio, antorcha).

Para los líquidos con alta volatilidad, la ecuación anterior puede ser simplificada si se supone un estado continuo, lo cual resulta en la siguiente expresión matemática:

$$m^* = \frac{H}{L}$$

Donde:

H: Flujo de calor (J/s)

L: Calor de vaporización del líquido (J/Kg)

### **2.1.5) Incendio en Charco o Recinto (CCPS, 1989)**

Un incendio de un derrame puede originarse de diferentes formas. Comienza con la descarga de un material inflamable proveniente de un equipo de proceso. Si el material está en fase líquida, almacenado a una temperatura inferior a su punto de ebullición, el líquido formará un charco cuya geometría estará determinada por los obstáculos existentes en los alrededores o se esparcirá libremente.

Los efectos de los derrames incendiados tienden a circunscribirse a sus cercanías y son considerados más bien para establecer las zonas de seguridad para los empleados y el potencial de que sucedan efectos dominó, en vez de sus efectos sobre terceros. El efecto primario de este tipo de incendios es la radiación térmica por lo que aspectos tales como la distancia entre tanques, plantas, necesidad de barreras contra fuego, etc., pueden ser considerados basados en análisis de consecuencias específicos según el rango posible de este tipo de incendios.

La determinación de los efectos térmicos dependerá del tipo de combustible, la geometría del charco, la duración del incendio, la ubicación del receptor de la radiación con respecto al incendio y el comportamiento de este receptor ante la radiación, entre otros. Los modelos que calculan los efectos térmicos utilizan diferentes sub-modelos interconectados entre sí. Algunos de ellos son planteados a continuación:

- Tasa de incendio
- Tamaño del charco
- Geometría de las llamas
- Calor emitido por la superficie de las llamas
- Intensidad de la radiación

### 2.1.5.a) Tasa de Incendio:

La tasa de incendio permite conocer el calor irradiado por unidad de área y estimar la duración del incendio. En los casos de incendios de derrames, la transferencia de calor por radiación al igual que la tasa de incendio aumenta a medida que el diámetro del charco se incrementa. Para diámetros mayores que un metro, la transferencia de calor por radiación domina y el factor geométrico de visión con respecto a la llama, es constante, por lo que se puede esperar que la tasa de quemado no varíe, permitiendo calcularla con facilidad. La velocidad de disminución del nivel de líquido de un charco está dado por:

$$y_{\max} = 1.2710^{-6} \frac{\Delta H_C}{\Delta H^*}$$

Donde:

$y_{\max}$ : Velocidad de disminución vertical del nivel del líquido (m/s)

$\Delta H_C$ : Calor neto de combustión (J/Kg)

$\Delta H^*$ : Calor de vaporización modificado en el punto de ebullición del líquido (J/Kg)

El calor de evaporación incluye el calor de evaporación y un ajuste para calentar el líquido desde la temperatura ambiente hasta la de su punto de ebullición. Este valor es calculado mediante la expresión matemática:

$$\Delta H^* = \Delta H_V + \int_{T_a}^{T_{BP}} c_p dT$$

Donde:

$\Delta H_V$ : Calor de evaporación del líquido a T ambiente (J/Kg)

$C_p$ : Calor específico del líquido (J/Kg K)

$T_a$ : Temperatura ambiente (K)

T<sub>BP</sub>: Temperatura del punto de ebullición del líquido (K)

La tasa de incendio de combustible es calculada multiplicando la tasa de incendio vertical por la densidad del líquido. Los valores típicos para hidrocarburos están en el rango de 0,05 Kg/m<sup>2</sup>s (gasolina) a 0,12 Kg/m<sup>2</sup>s (GLP).

Si se desconoce el valor de la densidad, la tasa de incendio de combustible puede ser aproximada utilizando la siguiente ecuación:

$$m_B = 1 \times 10^{-3} \frac{\Delta H_C}{\Delta H^*}$$

Donde:

m<sub>B</sub>: Tasa de incendio de combustible (Kg/m<sup>2</sup>s)

#### 2.1.5.b) Tamaño del Charco:

El tamaño del charco está determinado por la magnitud de la fuga y los obstáculos físicos presentes en los alrededores (diques, áreas de drenaje con pendiente). Para una fuga continua sobre una superficie plana sin restricciones, el diámetro máximo del charco es alcanzado cuando la tasa de incendio de combustibles iguala a la tasa de fuga. Este diámetro puede ser calculado mediante:

$$D_{\max} = 2 \sqrt{\frac{V_L}{\pi y}}$$

Donde:

D<sub>max</sub>: Diámetro de equilibrio del charco (m)

V<sub>L</sub>: Tasa volumétrica de derrame de líquido (m<sup>3</sup>/s)

y: Velocidad de quemado del líquido (m/s)

Esta ecuación supone que la velocidad del incendio es constante y la transferencia de calor dominante proviene de las llamas. Adicionalmente, la suposición de que la forma del charco es circular es normalmente aceptada, por lo cual, cuando un derrame tiene



forma cuadrada o rectangular debido a la presencia de diques, su superficie es calculada y se determina el diámetro de una superficie circular equivalente.

### 2.1.5.c) *Geometría de las Llamas:*

**Altura de Llama:** Muchas observaciones de charcos incendiados muestran que hay una relación aproximada de la altura de la llama con respecto al diámetro del charco. A continuación se detalla la correlación dada por Thomas (1963) para charcos circulares:

$$\frac{H}{D} = 42 \left( \frac{m_B}{\rho_a \sqrt{gD}} \right)^{0,61}$$

Donde:

H: Altura visible de llama (m)

D: Diámetro equivalente del charco (m)

$m_B$ : Velocidad de combustión por unidad de superficie ( $\text{Kg/m}^2\text{s}$ )

$\rho_a$ : Densidad del aire ( $1,2 \text{ Kg/m}^3$  a  $20^\circ\text{C}$  y  $1 \text{ atm}$ )

g: Aceleración de la gravedad ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

**Inclinación de la Llama:** Los charcos incendiados son frecuentemente afectados por el viento y la llama puede ser desplazada vientos abajo. El arrastre de la llama ocurre cuando corrientes de aire empujan la base de la llama vientos abajo del charco, permaneciendo el ancho de la llama y el borde (vientos arriba) sin cambios. En los incendios con forma rectangular o cuadrada, la dimensión de la base crece en la dirección del viento. Para llamas circulares, la forma cambia de circular a elíptica lo que resulta en una variación del factor de visión y en los efectos debidos a la radiación. En ambos casos, la radiación térmica vientos abajo aumenta debido a que la distancia hacia el receptor disminuye.

La inclinación de la llama se calcula mediante la siguiente correlación:

$$\cos(\theta) = 1 \quad \text{Para } u^* \leq 1$$

$$\cos(\theta) = (u^*)^{-2,5} \quad \text{Para } u^* \geq 1$$

$$u^* = u \left( \frac{g m_b D}{\rho_v} \right)^{-1/3}$$

Donde:

$\theta$ : Angulo de inclinación respecto a la vertical (°)

u: Velocidad del viento (m/s)

D: Diámetro del charco (m)

$m_b$ : Tasa de combustión por unidad de superficie (Kg/m<sup>2</sup>s)

$\rho_v$ : Densidad de vapor de combustible (Kg/m<sup>3</sup>)

#### 2.1.5.d) Flujo de Calor:

El calor total irradiado en el incendio de un líquido esta dado por la ecuación de la NFPA (1986):

$$Q = f A v H_c$$

Donde:

Q: Calor total irradiado (J/s)

f: Fracción de calor de combustión emitido por radiación (adimensional), que depende del tipo de combustible

A: Área de la superficie incendiada (m<sup>2</sup>)

v: Tasa de combustión del líquido (Kg/m<sup>2</sup>s)

$H_c$ : Calor de combustión del líquido (KJ/Kg)

La NFPA sugiere para LPG:

$H_c$ : 46000 KJ/kg

v: 0,115 Kg/m<sup>2</sup>s

f: 0,26

**2.1.5.e) Intensidad de Radiación:**

Existen dos modelos ampliamente utilizados para el cálculo de intensidad de radiación debida a incendios en charcos. Uno es el modelo de foco puntual de radiación y el otro es el modelo de factor geométrico de visión.

**Modelo de Foco Puntual:** El modelo de foco puntual se basa en el supuesto de que todo el calor irradiado por el incendio proviene de una pequeña fuente de energía térmica, ubicada en el centro de las llamas. Este método resulta adecuado para estimar la intensidad de radiación térmica a distancias mayores de 4 veces el diámetro de la superficie incendiada, ya que para distancias menores el modelo sobrestima la intensidad de radiación.

La ecuación para el cálculo de la intensidad de radiación viene dada por:

$$I = \frac{Q}{4\pi R^2} \cos(\theta)$$

Donde:

I: Intensidad de la radiación térmica (Kw/m<sup>2</sup>)

Q: Calor total irradiado (Kw)

R: Distancia al foco de radiación (m)

$\theta$ : Ángulo de incidencia (°)

**Factor Geométrico de Visión:** El método de factor geométrico de visión aproxima la geometría de la llama a la de un cilindro y se fundamenta en que la radiación térmica sobre un objeto que no se encuentra en contacto directo con la llama no es la que emite la llama en su totalidad, sino una parte de ella. Esta porción de energía que recibe el objeto está influenciada por el factor de visión, el cual es un factor geométrico que depende del radio, altura y ángulo de inclinación de la llama. Además, este factor toma en cuenta la distancia desde el eje de la llama o cilindro hasta el objetivo que recibe el nivel de radiación. Este modelo permite evaluar intensidades de radiación sobre elementos ubicados a cortas y largas distancias desde la fuente de ignición.

La intensidad de radiación térmica incidente sobre una superficie vertical, ubicada a la misma altura que la base de las llamas viene expresada por:

$$I = F \frac{Q}{Hd}$$

Donde:

I: Intensidad de radiación térmica (Kw/m<sup>2</sup>)

F: Factor de visión (adimensional)

d: Diámetro del charco (m)

Q: Calor total liberado por radiación (Kw)

H: Altura de la llama (m)

Si el líquido está almacenado a una presión superior a la de su punto de ebullición, cuando este escapa a la atmósfera, una fracción se evaporará súbitamente mientras que el líquido remanente formará un charco en las cercanías del lugar de la fuga. Los vapores que se originan en este charco requieren de una fuente de ignición, que pudiera existir y entrar en contacto con la nube generada, a medida que es arrastrada por el viento. Las llamas viajarían a través de la nube hasta el lugar de la fuga, incendiando el material aún en fase líquida. Si el líquido está almacenado a una presión inferior a la de su punto de ebullición, la ignición del derrame puede ocurrir a través de los vapores inflamables que expide el líquido. Ambos casos resultan en un fognazo inicial debido a los vapores que arden desde la fuente de ignición hasta el lugar del derrame, donde se origina lo que se conoce como charco incendiado. Si la descarga del material continúa, es probable que también ocurra un dardo de fuego (jet fire). Si la ignición sucede justo cuando comienza el derrame, no hay tiempo suficiente para que se forme el charco y solamente ocurrirá un dardo de fuego.

**Modelo del Cuerpo Sólido:** Este modelo es el más utilizado para calcular la radiación térmica de incendios, debido a que es más preciso que el modelo de la fuente puntual, inclusive cuando se utiliza para estimaciones a distancias cercanas a la llama. En este modelo se asume que la llama es un cuerpo gris, el cual emite radiación térmica desde su superficie. El modelo de llama sólida se fundamenta en las siguientes suposiciones:

- ❑ La llama se representa con geometrías tridimensionales sencillas, cuyas dimensiones se corresponden aproximadamente con las del incendio. La forma o geometría de la llama dependerá de las características del fuego. En el caso de un incendio de charco

circular las llamas se aproximarán a un cilindro y en casos más generales se asume que el cuerpo irradia energía uniformemente a través de toda su superficie.

- ❑ La energía radiante se emite uniformemente a través de la superficie exterior de la llama, considerando como emisora sólo la zona visible de la misma.
- ❑ El flujo de calor incidente sobre cierto objetivo puede ser calculado por la siguiente expresión:

$$I = \tau FE$$

Donde:

$\tau$  = transmisividad atmosférica (-)

F = factor de vista entre el objetivo y la llama (-)

E = potencia emisiva promedio de las llamas (Kw/m<sup>2</sup>)

### 2.1.6) Dardo de Fuego (CCPS, 1989)

Un dardo de fuego normalmente resulta de la combustión de un material a medida que escapa a presión de una unidad de proceso o almacenamiento. Al igual que para los incendios de charcos, el mayor punto de preocupación está en los efectos locales debido a la radiación.

Uno de los modelos es el desarrollado por el Instituto Americano del Petróleo (API), el cual considera que la longitud de la llama es aproximadamente la de un chorro no incendiado que está bajo la forma de una serie de fuentes tipo punto, espaciadas a lo largo de la línea central del chorro, con todas las fuentes irradiando cantidades iguales de calor "q", en donde la intensidad de radiación térmica sobre un objeto cualquiera vendrá dada por el calor irradiado por el chorro, por un factor de emisividad dependiente de la naturaleza del material y por la distancia del organismo receptor de la llama. Este método no es muy exacto cuando se trabaja con chorros a alta presión.

Mudan and Croce (1988) proveen un modelo más detallado tomando de referencia la llama del dardo. Si se aproxima la forma del dardo a un cilindro equivalente, la relación entre su longitud y el diámetro del orificio está dado por:

$$\frac{L}{d_0} = \frac{5,3}{C_t} \sqrt{\frac{T_f [C_t + (1 - C_t) M_a / M_f]}{N_T T_{amb}}}$$

Donde:

L: longitud del dardo (m)

$d_0$ : diámetro del orificio (m)

$C_t$ : es la fracción molar del combustible en una mezcla estequiométrica combustible/aire.

$M_a$ : peso molecular del aire (masa/mol)

$M_f$ : peso molecular del combustible (masa/mol)

$N_t$ : cociente entre el número de moles de reactantes y productos de acuerdo con la estequiometría de la reacción.

$T_{amb}$ : Temperatura ambiente (K)

$T_f$ : Temperatura de llama (K)

Se puede simplificar la ecuación mediante la siguiente expresión:

- En la gran mayoría de los combustibles  $C_t$  es mucho menor a 1.
- $N_t$  es aproximadamente 1.
- La relación  $T_f / T_{amb}$  varía entre 7 y 9.

$$\frac{L}{d_0} = \frac{15}{C_t} \sqrt{\frac{M_a}{M_f}}$$

El flujo de radiación sobre el receptor se expresa de la misma forma que para charco incendiado:

$$I_R = Q f_{vg}$$

Donde:

IR: Flujo radiante (Kw/m<sup>2</sup>)

Q: Calor total irradiado (Kw)

f: transmisibilidad (adimensional)

$f_{vg}$ : factor de visión

Otro modelo es el propuesto por Considine, M. y Grint, G. (1985), en el cual asumen la geometría de la llama en forma de cono. Esta es una correlación para LPG y viene dada por:

$$L = 9,1m^{0,5}$$

$$W = 0,25L$$

$$r_{s,50} = 1,9t^{0,4}m^{0,47}$$

Donde:

L: Longitud de la llama (m)

W: Mitad cónica del dardo incendiado en la punta de la llama (m)

m: Tasa de descarga de LPG en un rango de  $1 < m < 3000$  kg/s

$r_{s,50}$ : Rango lateral de peligro a una letalidad del 50% condicionado a que  $r > W$  (m)

t: Tiempo de exposición sujeto a  $10 < t < 300$  s

### 2.1.7) Modelo Equivalente TNT (CCPS, 1989)

El modelo se basa en la suposición de una equivalencia entre el material inflamable y el TNT (Trinitrotolueno), ajustado por un valor de eficiencia de la explosión.

$$W = \frac{\eta M E_c}{E_{TNT}}$$

Donde:

W: Masa equivalente de TNT (Kg)

$\eta$ : Eficiencia de la explosión (adimensional)

M: Masa del hidrocarburo (Kg)

$E_c$ : Calor de combustión del gas inflamable (KJ/kg)

$E_{TNT}$ : Calor de combustión de TNT (4437 - 4765 KJ/kg)

El radio desde el centro de la nube a una sobrepresión específica viene dado por la siguiente ecuación:

$$z = R / (W_{TNT})^{1/3}$$

Donde:

z: es la distancia escalada ( $m/kg^{1/3}$ )

R: distancia real (m)

$W_{TNT}$ : es la masa de TNT usada en la explosión o el equivalente de TNT de la energía liberada

Con este dato se calcula la distancia escalada y a partir del libro “Análisis y Reducción de Riesgos en la Industria Química”, Santamaría, J. (1994), gráfico de pág. N° 122 se obtiene la sobrepresión (kPa). La vulnerabilidad se puede estimar a partir de la Tabla 3.17 del mismo libro.

### **2.1.8) Dispersión de Nubes de Vapor (CCPS, 1989)**

#### **2.1.8.a) Factores que afectan la dispersión de vapor:**

El tamaño máximo de una nube de vapor peligrosa, que puede ser producido por una descarga dada de un gas o líquido, es una función compleja de muchos factores. No obstante, los tres factores fundamentales son:

- La tasa a la cual un gas tóxico o inflamable es introducido dentro de la atmósfera.
- La tasa a la cual el gas se mezcla y es diluido con el aire.
- El límite de concentración seleccionado para representar el nivel de peligro de interés.

En general, cualquier factor que inflencie uno o más de los tres factores fundamentales mencionados pueden ser importantes bajo ciertas condiciones:

- Tasa a la cual es introducido el gas.

El gas puede ser introducido a la atmósfera directamente como gas o producido por la vaporización de la fuga de un líquido.

- Tasa de mezcla y dilución.

Cuando el gas es introducido dentro de la atmósfera, se mezcla y es diluido por el aire. Si el aire está muy en calma (velocidad de viento cero) y un gas con una densidad igual a la densidad del aire que pudiera ser introducido dentro de la atmósfera a velocidad



cero, el gas se mezclaría con el aire debido a la difusión (esto es, debido al movimiento al azar de varias especies de moléculas de gas). Bajo tales condiciones, la tasa de mezcla será muy lenta. La mezcla y dilución ocurriría más rápidamente si existiera turbulencia en la atmósfera. En el caso de nubes de vapor, existen tres fuentes primarias de turbulencia en la atmósfera:

- Movimiento normal de la atmósfera que es el resultado del calentamiento solar y enfriamiento por radiación.
- Perturbación del flujo de aire causado por la interacción del movimiento del aire con objetos estacionarios tales como edificios o vegetación.
- Transferencia de momento y fuerzas cortantes creadas por descargas a alta velocidad de un gas o líquido vaporizándose inmediatamente.

#### □ Estabilidad Atmosférica

En ausencia de nubes, la atmósfera absorbe pequeños calores radiantes del sol. Por eso, durante las últimas horas de un día claro, la energía radiante del sol pasa a través de la atmósfera y es absorbida por la tierra. Esto causa el aumento de la temperatura de la superficie de la tierra. El aire junto a la superficie de la tierra estará a una temperatura más baja pero, debido a la transferencia de calor convectiva desde la tierra esta temperatura se incrementará a través del progreso del día. Cuando el cielo está despejado, en noches sin una nube, la superficie de la tierra irradia calor dentro del negro cielo. Esto causa que la temperatura de la tierra disminuya más rápidamente que la temperatura del aire. Como resultado el aire circundante a la tierra es más caliente que la superficie de la tierra.

Si la temperatura de la tierra fuera constante, la temperatura y la densidad del aire disminuirían con la altitud a una tasa específica, lo que los meteorólogos refieren como la “tasa de lapso adiabático”. Bajo ciertas condiciones, la tasa a la cual la temperatura del aire cambia con la elevación se aproximará muy cercanamente a la tasa de lapso adiabático. Cuando esto ocurre, el movimiento vertical en la atmósfera no es ayudado ni obstaculizado por los gradientes de temperatura. Esta condición es referida como una atmósfera “neutral”.

El movimiento vertical en la atmósfera es suprimido si el gradiente de temperatura actual es menor que la tasa de lapso adiabático (una condición referida como una

atmósfera estable) o si la temperatura del aire incrementa con el aumento de altitud (una condición referida como inversión). A la inversa, el movimiento vertical se realiza si el gradiente de temperatura es mayor a la tasa de lapso adiabático (una condición referida como una atmósfera inestable).

Los días soleados generalmente producen condiciones de atmósferas inestables porque la energía solar calienta la superficie de la tierra, la cual se refleja en un incremento de la temperatura del aire junto a la superficie de la tierra. Sin embargo, la temperatura del aire a altitudes mayores no es afectada en gran parte por la radiación solar.

Las noches de cielo despejado, sin nubes, generalmente producen condiciones atmosféricas estables porque la superficie de la tierra enfría tanto como irradia calor hacia la atmósfera. Esto causa que la temperatura del aire junto a la tierra disminuya mientras la temperatura del aire a elevaciones mayores permanece en gran parte sin cambios.

Las nubes en el cielo tienden a suprimir los efectos del calentamiento solar durante el día y el enfriamiento por radiación durante la noche. Por lo tanto, los cielos llenos de nubes generalmente producen condiciones atmosféricas neutrales.

Las condiciones de estabilidad atmosférica descritas anteriormente son a menudo referenciadas por las letras asignadas por Pasquill, F. en 1974 (ARPCA, 2006).

Pasquill A	Muy inestable
Pasquill B	Inestable
Pasquill C	Moderadamente inestable
Pasquill D	Neutral
Pasquill E	Estable
Pasquill F	Muy estable

La relación entre las categorías de estabilidades atmosféricas de Pasquill, son presentadas en la Tabla 2:

Velocidad del viento en la superficie (m/s)	Día*			Día o Noche	Noche	
	Intensidad del Calentamiento Solar			Cantidad de Nubes en el Cielo		
	Fuerte	Moderado	Ligero	Nublado	Ligeramente Nublado o > ½ Nubes Bajas	< 3/8 de Nubes
< 2	A	A - B	B	D	-	-
2 - 3	A - B	B	C	D	E	F
3 - 5	B	B - C	C	D	D	E
5 - 6	C	C - D	D	D	D	D
6	C	D	D	D	D	D

Tabla 2. Categorías de la Estabilidad de Pasquill en términos de velocidad del viento, calentamiento solar y nubosidad. Fuente: Pasquill, F. (1974)

\* El día es el momento desde dos horas después de la aurora y dos horas después del ocaso. Para las horas entre el día y la noche, y las horas entre la noche y el día debería usarse D, sin tener en cuenta las condiciones del cielo.

La noche es el momento desde una hora antes del ocaso a una hora después de la aurora.

#### Rugosidad de la Superficie

Las obstrucciones en la trayectoria del aire en movimiento causan remolinos generales y otros trastornos del comportamiento del flujo de aire, causando por ello un incremento en la turbulencia y un cambio en el perfil de la velocidad del viento (es decir, una variación de la velocidad del viento como una función de elevación). Las obstrucciones mayormente encontradas por el viento son objetos que están en contacto con la superficie de la tierra (tales como arbustos, árboles, edificios, etc.). Igualmente, la rugosidad de una superficie plana, tal como concreto, suelo, hielo, etc., causa turbulencia.

Los siguientes factores pueden, bajo ciertas condiciones, afectar uno o más de los factores fundamentales.

- Propiedades físicas, químicas y termodinámicas del material que está siendo descargado.
- Características peligrosas del material.
- Estado físico y termodinámico del material antes de la descarga.
- Tasa de descarga.

- Velocidad de descarga.
- Duración de la descarga.
- Grado de confinamiento de derrames de líquidos.
- Características térmicas de las superficies en contacto con un charco.
- Densidad de la nube de vapor.
- Velocidad del viento.
- Estabilidad atmosférica.
- Temperatura del aire.
- Humedad relativa.
- Características físicas del terreno local.

#### **2.1.8.b) Modelos de Dispersión de Vapores:**

La dispersión del gas posterior a una descarga de líquido, gas o aerosol, puede ser calculado con una variedad de modelos computarizados. Hasta los primeros años de la década del 1970, los únicos modelos disponibles para desarrollar cálculos de dispersión de descargas accidentales estaban basados en modelos de dispersión de contaminación del aire (por ejemplo los modelos de chimenea de la EPA). Estos modelos fueron basados sobre una aproximación Gaussiana que es válida solamente para descargas instantáneas o constantes de un gas neutral más liviano que el aire. Su uso (o desuso) hizo evidente que la clase de modelos Gaussianos no simularían efectivamente la dispersión de las descargas de alta velocidad o de gases más densos que el aire.

Existen dos modelos de dominio público que han demostrado efectivamente el modelo de dispersión de gases (descargas de gas tipo chorro o vapores desprendidos de charcos de fuego) y aerosoles (descarga de líquidos sobrecalentados). Un modelo, DEGADIS (de su nombre en inglés Dense Gas Dispersión) contiene un juego extensivo de subrutinas para cuantificar por los efectos del calentamiento del suelo y la naturaleza de variar en el tiempo de una descarga particular. El modelo DEGADIS contiene ambos, un modelo de dispersión más pesado que el aire para vapores desprendidos de un charco de líquido y un modelo de dispersión para momento de chorro (momentum jet) para descarga de vapores y líquidos sobrecalentados de recipientes presurizados. El desarrollo del modelo de DEGADIS ha sido fundado por la agencia de Protección del Ambiente de los estados Unidos (EPA, Environmental Protection Agency). El modelo DEGADIS ha

sido respaldado por los Guardacostas de Estados Unidos y está actualmente disponible en la EPA.

El segundo modelo de dominio público que es adecuado para evaluar la dispersión de las descargas más pesadas que el aire y momentum jet es el SLAB. El modelo SLAB fue desarrollado por el Laboratorio Nacional Lawrence Livermore y está actualmente disponible en la EPA de Estados Unidos. SLAB contiene ambos modelos de dispersión, las descargas más pesadas que el aire para descargas de vapores desprendidos de un charco de líquido y el modelo de momentum jet para descargas de gases o líquidos vaporizándose instantáneamente.

Tanto DEGADIS como SLAB han sido mostrados para proveer resultados que comparen bien los datos de prueba disponibles para LGN, amoníaco, GLP y fluoruro de hidrógeno (Hanna, 1991).

Se pueden definir tres comportamientos de nube de vapor y tres modos de escape con el tiempo.

La Tabla 3 muestra los siguientes comportamientos de las nubes:

Comportamiento de la Nube	Duración del Escape
Gas boyante/vigoroso neutralmente	Instantáneo
Gas boyante/vigoroso positivamente	Continuo (plumas)
Gas denso o boyante negativamente	Continúa variación con el tiempo

Tabla 3. Comportamiento de las nubes. Fuente: Arpca (2006).

#### □ Dispersión Instantánea

Los modelos Gaussianos son aplicados directamente en los Análisis de Riesgos para emisiones boyantes, neutrales y positivamente, así como también para fugas pequeñas de gases densos, donde la fase del proceso de dispersión es relativamente corta comparado con la fase boyante neutralmente. Estos modelos han sido validados para un amplio rango de emisiones características.

La ecuación que modela la dispersión de una fuga instantánea es la propuesta por Crowl, D. and Louvar, J. en 1990 (CCPS, 1989).

$$(C)(x, y, z, t) = \frac{G}{(2\pi)^{3/2} \sigma_y \sigma_z \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$

Donde:

C: Concentración (Kg/m<sup>3</sup>)

G: Masa que se dispersa (Kg)

x, y, z: Coordenadas de la pluma (m)

$\sigma_X$ ,  $\sigma_Y$ ,  $\sigma_Z$ : Coeficientes de dispersión (m)

$\sigma_X$ ,  $\sigma_Y$ ,  $\sigma_Z$  son funciones lineales de la distancia entre el centro de la nube y el orificio de fuga.

H: Altura de la descarga (m)

#### □ Dispersión Continua

La ecuación que modela la dispersión de una fuga continua es la siguiente:

$$(C)(x, y, z) = \frac{G}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$

Donde:

C: Concentración (Kg/m<sup>3</sup>)

G: Flujo másico (Kg/s)

u: Velocidad del viento (m/s)

#### La influencia de varios factores en la dispersión de vapores:

La manera en la cual los factores antes mencionados afectan la formación y/o dispersión de las nubes de vapor se discuten a continuación:

#### □ Estados Físicos y Termodinámicos

Los estados físicos y termodinámicos de un fluido previo a su descarga pueden afectar el tamaño de la nube de vapor en varias maneras. Por ejemplo, la tasa de descarga a través de un orificio de un tamaño dado dependerá fuertemente de la condición del fluido antes de su descarga.

Las condiciones de pre-descarga también controlan el estado físico inicial de la descarga del fluido (por ejemplo, líquido, gas o dos fases) y el comportamiento subsecuente de las descargas de líquido (vaporización instantánea, ebullición o

evaporación). Por ejemplo, si se comparan las máximas longitudes de las nubes de gas inflamables producidas por tres descargas de propano, cada una teniendo la misma tasa de descarga.

Las condiciones de almacenamiento previas a la descarga son:

- Líquido refrigerado, ligeramente sobre la presión atmosférica,
- Líquido presurizado a temperatura ambiental
- Gas presurizado a temperatura ambiental.

La primera descarga resulta en la formación de un charco de líquido en ebullición. La segunda descarga crea una alta velocidad de aerosol como parte del líquido vaporizándose instantáneamente una vez dada la descarga. La tercera descarga produce una alta velocidad del chorro de gas.

#### Tasa de descarga

En la mayoría de los escenarios, la tasa a la cual el gas es introducido a la atmósfera es fuertemente dependiente de la tasa de descarga.

#### Características térmicas de la superficie del derrame

Una descarga de un gas refrigerado típicamente resultará en la formación de un charco líquido frío sobre la superficie de cualquier material que es presentado a nivel de piso en las áreas vecinas del punto de descarga. La tasa a la cual el charco se vaporizará e introducirá gas dentro de la atmósfera es fuertemente dependiente de las características térmicas de la superficie del derrame (sustrato) debajo del charco. Las dos características térmicas del sustrato que son más importantes son la conductividad térmica y masa térmica (la masa térmica es el producto de la capacidad calorífica, densidad promedio y temperatura absoluta del sustrato). Es una medida de la cantidad de calor contenida en el sustrato. La conductividad térmica es una medida de cuan rápidamente el calor puede ser transferido al charco. Para sustratos sólidos tales como suelos, la humedad contenida es también importante porque provee una fuente de calor adicional.

La diferencia en la superficie de los derrames tendrá menos efecto en la extensión de la nube de vapor inflamable producido por descargas subenfriadas de líquidos a

temperatura ambiente tales como gasolina o metanol porque la tasa de evaporación del charco creado por tales descargas es primariamente controlado por la transferencia de masa a la atmósfera mucho mas que la transferencia de calor de la superficie del derrame.

#### ❑ Grado de confinamiento de los derrames líquidos

La máxima tasa a la cual un charco de líquido se vaporiza está en función del área cubierta por el charco. Esto es verdad no solo para descarga de gases licuados refrigerados en la cual la transferencia de calor de la sustancia debajo del charco es importante, sino también para descarga de subenfriados, líquidos a temperatura ambiente en la cual su transferencia de masa desde la superficie libre del charco es más importante.

#### ❑ Duración de la descarga

Las nubes de vapor creadas por descargas de gas o líquidos vaporizándose instantáneamente a altas velocidades alcanzan su máximo tamaño más rápidamente. Esto es particularmente cierto para nubes de vapor inflamable, pero menos cierto para nubes de vapor tóxicas porque estas requieren relaciones de dilución más grande. Con este tipo de descarga una vez que la nube de vapor ha alcanzado su máximo tamaño, esta quedará aproximadamente del mismo tamaño hasta que cambie la tasa de descarga. Por lo tanto, una vez que la duración de la descarga excede algún tiempo crítico, un incremento de la duración de la descarga no incrementará el tamaño de la nube de vapor.

Para descargas de gases licuados refrigerados o subenfriados, líquidos a temperatura ambiente, la situación es diferente. Si el charco de líquido es creado por esta, una descarga que no es confinada continuara creciendo (y también lo hará la nube de vapor asociada) hasta que la descarga se haya detenido o hasta que la tasa de vaporización del charco iguale la tasa de descarga. La tendencia de la nube de vapor a incrementarse tanto como incrementa la duración de la descarga puede ser minimizada represando el charco dentro de un área.

Si el peligro de interés es la toxicidad, la duración de la descarga también influencia el tamaño de la nube peligrosa en otro modo. Los efectos de salud causados por respirar aire contaminado por un gas tóxico están relacionados con la concentración del gas tóxico y el tiempo de exposición. Si la duración de la descarga se incrementa, entonces aumenta el tiempo potencial de la exposición. Como resultado, disminuye la



concentración del gas tóxico requerida para producir los mismos efectos en la salud, así como también aumenta el tamaño de la porción de la nube de vapor.

#### Velocidad de la descarga

La importancia relativa de la velocidad de la descarga depende del tipo de descarga y la concentración de vapor de interés. La velocidad de la descarga es absolutamente importante cuando se está modelando nubes de vapor inflamables producidas por descargas de un gas o de líquido vaporizándose instantáneamente. Un gas a alta velocidad o pluma de aerosol crean un alto grado de turbulencia a medida que pasa por el aire. Esta turbulencia resulta en una rápida mezcla y dilución.

La velocidad del gas o pluma de aerosol naturalmente disminuirá con el aumento de la distancia desde el punto de descarga, así como lo hará el grado de turbulencia inducida. A cierta distancia desde el punto de la descarga, la velocidad de la pluma será aproximadamente igual a la velocidad del viento. Una vez que esto ocurra, el proceso de mezcla y dilución disminuye su velocidad debido a la disminución de la turbulencia. Por lo tanto, si la razón de dilución requerida es alta (como lo es para nubes de vapores tóxicos), la influencia de la velocidad de la descarga sobre el tamaño de la nube de vapor peligrosa es diminuta.

#### Estabilidad atmosférica

Las nubes inflamables formadas como un resultado de la alta velocidad de descarga de gas o líquido sobrecalentado son menos afectadas por cambios en la estabilidad atmosférica porque estas descargas proporcionan su propia turbulencia.

#### Rugosidad de la superficie

La influencia de la rugosidad de la superficie en la distancia máxima vientos abajo alcanzada por las nubes de vapor inflamables es similar a la influencia de la estabilidad atmosférica. Un incremento en la rugosidad de la superficie incrementa el grado de turbulencia atmosférica junto a la superficie del terreno, la cual causa una disminución en la extensión vientos debajo de las nubes de vapor que se forman y dispersan en la superficie del terreno. El efecto será mayor para nubes de vapor más densas que el aire,

creadas por charcos de líquido. El vapor producido por tales derrames entra en la atmósfera a una velocidad cercana a cero y disminuye junto a la superficie del terreno.

Un cambio en la rugosidad de la superficie tendrá un pequeño efecto sobre la nube de vapor inflamable creada por la descarga de un líquido sobrecalentado o la descarga de un gas, si la corriente del fluido se descarga horizontalmente junto a la superficie del terreno. Si el punto de descarga es elevado o el fluido de descarga verticalmente hacia arriba el efecto de rugosidad de superficie será insignificante.

#### □ Velocidad del viento

El efecto de la velocidad del viento sobre el tamaño de la nube de vapor no es intuitivamente obvio porque el viento puede ejercer múltiples influencias sobre una nube de vapor. Algunas de estas influencias pueden trabajar en oposición a una o más de las otras influencias. Por ejemplo, la tasa de vaporización de un charco de líquido incrementa a medida que aumenta la velocidad del viento. Por lo tanto, tiende a producir una nube de vapor más grande. Al mismo tiempo la diferencia de momento entre el viento y el gas que se está desprendiendo desde el charco incrementa con el aumento de la velocidad del viento, esto causa un incremento de la turbulencia junto al charco promoviendo la mezcla y dilución, tendiendo a disminuir el tamaño de la nube de vapor.

Si el gas o líquido sobrecalentado se descarga en la dirección del viento, la diferencia de velocidad entre el chorro de fluido y el aire disminuye al mismo tiempo que incrementa la velocidad del viento. Estos resultan en una disminución de la turbulencia y mezcla junto a la fuente de descarga, posiblemente causando que la nube de vapor viaje una distancia mayor vientos abajo antes de su dilución a una concentración específica.

Cuando un gas o líquido sobrecalentado se descarga dentro de la atmósfera a una velocidad mayor que la velocidad del viento el momento del fluido descargado será transferido a la atmósfera causando que la velocidad de la línea central de la nube de vapor disminuya al mismo tiempo que aumenta la distancia desde el punto de la descarga. A ciertas distancias desde el punto de descarga la velocidad de la nube de vapor se igualará a la velocidad del viento. Mientras que la nube se mueve a distancia más lejos que el punto de descarga, la turbulencia atmosférica se convierte en la fuerza primaria de impulso para la dispersión y hace que la turbulencia incremente con el aumento de la velocidad del viento, un incremento de la velocidad del viento podría causar que la longitud de la nube de vapor disminuya.

❑ Densidad de la nube de vapor

Si una descarga de gas o líquido resulta en la introducción de gas frío dentro de la atmósfera, la temperatura del aire que se mezcla con el gas frío disminuirá y su densidad incrementará.

La descarga de un brote de líquido sobrecalentado causará la formación de aerosol. La presencia de gotas de líquido dentro del aerosol causará que este tenga una densidad mayor que el gas descargado.

Una descarga de gas licuado sobrecalentado típicamente crea una nube de vapor que inicialmente es más densa que el aire circundante. La diferencia de densidad es debido a las influencias combinadas de las gotas de aerosol formadas a medida que el líquido se vaporiza instantáneamente, la disminución de la temperatura causada por la expansión del gas producido por la vaporización instantánea, enfriamiento del aire tal y como se mezcla con la nube de aerosol, y las gotas de agua producidas por la condensación del vapor de agua. Para la descarga de gas líquido refrigerado, la diferencia de densidad puede ser debido a la combinación de las influencias de gas frío siendo generado por la vaporización del charco de líquido, enfriando el aire así como se mezcla con el gas frío, y la condensación de vapor de agua en pequeñas gotas de agua.

La trayectoria de la nube de vapor producida por la descarga de un gas a alta velocidad será influenciada más por la orientación y el momento de la descarga que por cualquier diferencia de densidad entre la nube de vapor y el aire circundante.

La porción de la nube de gas en la cual la concentración del gas es la más alta exhibirá la mayor desviación de la densidad del aire de los alrededores. Así como la nube de vapor viaja más lejos desde su fuente y se torna más diluida, la diferencia de densidad entre la nube de vapor y el aire circundante disminuye. La diferencia de densidad será tan pequeña, que no afectará más la trayectoria recorrida por la nube

**2.1.9) Incendio en llamarada y Explosión de nube de vapor no confinada (CCPS, 1989)**

Las explosiones que se consideran aquí, son las denominadas explosiones de nubes de vapor no confinadas, traducción de la expresión inglesa Unconfined Vapour Cloud Explosion, y de ahí su acrónimo UVCE.

Se puede definir como deflagración explosiva de una nube de gas inflamable que se halla en un espacio amplio (aunque con ciertas limitaciones), cuya onda de presión alcanza una sobrepresión máxima del orden de 1 bar en la zona de ignición.

Este tipo de explosiones se originan debido a un escape rápido de gran cantidad de gas o vapor inflamable que se dispersa en el aire o por evaporación rápida de un líquido inflamable para formar una nube de características inflamables mezclada con el aire. Cuando un gas inflamable se encuentra una fuente de ignición (normalmente superficies calientes, chispas, motores eléctricos, etc.), una parte de esta masa de gas (la que se encuentra entre los límites de inflamabilidad de la sustancia de que se trate), deflagra por efecto de la fuente de ignición y se produce la explosión. Normalmente son deflagraciones y en raras ocasiones se transforman en detonaciones.

Puede que no llegue a alcanzarse la deflagración, con lo que se originaría una llamarada, incendio súbito de nube de gas, incendio flash o "flash fire". La frontera entre este tipo de situaciones no está muy clara y depende de la velocidad de combustión de la mezcla y las características del vapor. En estos incendios flash, los efectos de presión son despreciables frente a los efectos térmicos derivados de la inflamación de la mezcla vapor inflamable-aire.

El modelo parte de los resultados que se derivan de la dispersión de los vapores inflamables. Se calcula la cantidad de gas que existe entre los límites de inflamabilidad de la sustancia de que se trate, lo que determina un volumen de gas inflamable. Si antes de que se produzca la dispersión total de una nube inflamable, ésta encuentra un punto de ignición, se producirá su explosión, que generará unas ondas de presión causadas por la expansión/contracción del aire.

Se utiliza el modelo de Sachs, mediante la correlación de la sobrepresión directa máxima y del impulso con la energía y velocidad de propagación de la llama de la deflagración. Este método proporciona una estimación del efecto según la distancia para una explosión grave de hidrocarburos que puedan proporcionar hasta  $5 \times 10^{12}$  J de energía.

El modelo se basa en correlaciones empíricas. Si la energía total de explosión es mayor que  $5 \times 10^{12}$  J, no hay suficiente información para los efectos del daño. Para valores bajos de la energía total de explosión hay suficientes datos como para hacer una estimación.

En primer lugar, se determina la longitud característica de Sachs mediante la expresión:

$$LS = \left[ \frac{V_0 E_c}{P_{atm}} \right]^{1/3}$$

En la que  $V_0$  es el volumen ocupado por una mezcla estequiométrica de la masa que deflagra con aire, y  $E_c$  la energía de combustión por unidad de volumen, que para una mezcla estequiométrica es aproximadamente de  $3,5 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ .

LS: Longitud característica de Sachs (m)

$V_0$ : Volumen ocupado por mezcla estequiométrica de la masa que deflagra con aire ( $\text{m}^3$ )

$E_c$ : Energía de combustión por unidad de volumen (aproximadamente  $3,5 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ )

$P_{\text{atm}}$ : Presión atmosférica (Pa)

Entonces, la sobrepresión máxima directa relativa de Sachs puede determinarse mediante:

$$PS = c \frac{LS}{r}$$

$$PS = c \frac{LS}{r}$$

PS: Presión reducida de Sachs (Pa)

c: Constante de reactividad del producto

LS: Longitud característica de Sachs (m)

r: Distancia (m)

El valor de la constante  $c$  depende de la reactividad de la sustancia que deflagra. Así se establece una clasificación en sustancias de reactividad baja, media y alta basándose en la velocidad de llama. En caso de no conocerse la reactividad de la sustancia, se considerará alta. La siguiente Tabla muestra el valor de  $c$  para cada una de las categorías de reactividad.

Reactividad	Constante de reactividad (c)
Baja	0,02
Media	0,06
Alta	0,15

Tabla 4. Categorías de Reactividad.

A partir de la sobrepresión de Sachs, puede determinarse la sobrepresión máxima directa como:

$$Dp = P_{\text{atm}} PS$$

Por otra parte, se determinan la duración característica de Sachs y la duración de la fase de sobrepresión positiva. A partir de ahí se determina el impulso específico por unidad de volumen transmitido por la onda de presión:

$$I = \frac{\Delta p t_+}{2}$$

I: Impulso específico de la onda de presión (Pas)

t<sub>+</sub>: Duración de la fase de sobrepresión positiva (s)

Dp: Sobrepresión (Pa)

### 2.1.10) BLEVE (CCPS, 1989)

Una BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) es la pérdida súbita de contención de un líquido sobrecalentado a condiciones atmosféricas. Este fenómeno conlleva la ebullición vigorosa y súbita del líquido, con la producción de una onda de sobrepresión. Los líquidos almacenados normalmente bajo presión tienen puntos de ebullición inferiores a la temperatura ambiente. Un líquido con punto de ebullición superior a la temperatura ambiental, que es calentado a una temperatura superior a la de su punto de ebullición, por una fuente de calor, antes de ser liberado a la atmósfera, también puede dar lugar a una BLEVE.

La explosión del vapor en expansión de un líquido en ebullición (BLEVE) es un tipo especial de accidente que puede descargar gran cantidad de materiales al ambiente. Si estos materiales son inflamables, puede ocurrir VCE, si son tóxicos, un área extensa puede estar afectada por sus efectos. En cualquier caso, la energía liberada por el fenómeno en si puede ocasionar un daño considerable. Cuando una BLEVE ocurre en un recipiente que almacena un líquido inflamable, este estará acompañado de una bola de fuego si la falla fue inducida por un incendio. La vaporización y expansión violenta que se produce tras la falla del recipiente resulta en una nube que es casi vapor y rocío en estado puro. Después de encontrar una fuente de ignición, la nube comienza a quemarse en su superficie, donde la mezcla con aire es posible. En la etapa de flotación, la combustión se propaga hacia el centro de la nube ocasionando una bola de fuego masiva.

La distancia de la bola de fuego a los receptores de la radiación y la transmisividad atmosférica, determinarán las consecuencias de la radiación.

Los parámetros principales para lograr la identificación de una bola de fuego, se presentan a continuación:

$$D_{MAX} = 5,8M^{1/3}$$

Para  $M < 30000$  Kg:

$$t_{BLEVE} = 0,45M^{1/3}$$

Para  $M > 30000$  Kg:

$$t_{BLEVE} = 2,6M^{1/6}$$

$$H_{BLEVE} = 0,75D_{MAX}$$

$$D_{INITIAL} = 1,3D_{MAX}$$

Donde:

$D_{MAX}$  = Diámetro máximo de la bola de fuego (m)

$t_{BLEVE}$  = Duración de la bola de fuego (s)

$H_{BLEVE}$  = Altura del centro de la bola de fuego (m)

$D_{INITIAL}$  = Diámetro inicial hemisférico de la bola de fuego, antes de elevarse (m)

$M$  = Masa inicial del líquido inflamable (Kg)

La radiación térmica es calculada utilizando el calor emitido por la superficie. Para estimar el calor emitido por la superficie, con base a la fracción de calor radiada del calor total de combustión, se utiliza la siguiente ecuación:

$$E = \frac{fMH_c}{\pi D_{MAX}^2 t_{BLEVE}}$$

Donde:

$E$  = Calor irradiado ( $J/m^2s$ )

$f$  = Fracción de calor de combustión emitido por radiación (adimensional)

$M$  = Masa inicial de combustible en la bola de fuego (Kg)

$H_C$  = Calor de combustión por unidad de masa (Kj/Kg)

$D_{MAX}$  = Diámetro máximo de la bola de fuego (m)

$t_{BLEVE}$  = Duración de la bola de fuego (s)

Para la fracción irradiada, se tomó el valor de 0,2 (bolas de fuego originadas de la falla de recipientes a presiones por debajo de la de apertura de su válvula de alivio).

Para calcular el flujo de radiación recibido por un receptor a una distancia determinada, se utiliza la siguiente ecuación:

$$E_r = \frac{2,2\tau_a f M H_C M^{2/3}}{4\pi X_C^2}$$

Donde:

$E_r$  = Calor irradiado recibido por el receptor ( $J/m^2s$ )

$\tau_a$  = Transmisividad atmosférica (adimensional)

$f$  = Fracción de calor de combustión emitido por radiación (adimensional)

$X_C$  = Distancia desde el centro de la bola de fuego hacia el receptor (m)

Debido a que los efectos de una BLEVE se relacionan principalmente con las lesiones a humanos, es necesario utilizar el factor geométrico de visión de una esfera hacia un receptor. Para un caso en general, el centro de una bola de fuego tiene una altura  $H$  sobre el suelo. La distancia  $L$  es medida desde un punto en el suelo, directamente debajo del centro de la bola de fuego, horizontalmente al receptor, ubicado también a nivel del suelo. Para una superficie horizontal, el factor de visión está dado por:

$$F_{21} = \frac{H(D/2)^2}{(L^2 + H^2)^{3/2}}$$

Donde:

$F_{21}$  = Factor de visión (adimensional)



H = Altura de la bola de fuego (m)

D = Diámetro de la bola de fuego (m)

L = Distancia a la bola de fuego (m)

Cuando la distancia L es mayor que el radio de la bola de fuego, el factor de visión para una superficie vertical es calculado por medio de la siguiente ecuación:

$$F_{21} = \frac{L(D/2)}{(L^2 + H^2)^{3/2}}^2$$

## 2.2 - Selección de los Orificios de Fuga

Para llevar adelante esta investigación y con el objeto de realizar un cálculo de riesgo de una forma práctica, se realizó una discreta selección de tamaños de orificios de fuga, para realizar la corrida de los modelos matemáticos introducidos en las planillas Excel en función de lo mencionado precedentemente. Se definieron de tal manera que representen agujeros de un tamaño representativo y en la condición de rotura total del recipiente.

Se tomó como referencia la Tabla de Eventos con Pérdidas para Contenedores Estacionarios (Ministerie van VROM. 2005).

La Tabla N° 5 presenta las dimensiones de los orificios seleccionados:

Tipo de Orificio	Valor Representativo
Parcial	10 mm.
Rotura Total	Descarga instantánea

Tabla 5. Orificios de Fuga. Fuente: Ministerie van VROM (2005).

Capítulo 3  
**ÁREA DE ESTUDIO**

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL UTN-FRBB

### 3. ÁREA DE ESTUDIO

#### 3.1- Descripción del Área de Estudio

Bahía Blanca está localizada en los 38° 44' de latitud Sur y 62° 16' de Longitud Oeste, al sudoeste de la Provincia de Buenos Aires (Argentina), a 640 kilómetros distante de la Capital Federal (Figura 1).

Es una de las ciudades portuarias más importantes de la Argentina. Es la cabecera del partido homónimo. Además es un nodo ferroviario y carretero. Aunque la ciudad de Bahía Blanca propiamente dicha se encuentra a casi 10 Km. del Mar Argentino, está conurbada con otras ciudades y poblaciones costeras, entre las que podemos destacar el puerto de Ingeniero White (a 9,7 Km.), General Cerri (15,3 Km.) y Punta Alta (a 28,2 Km.).

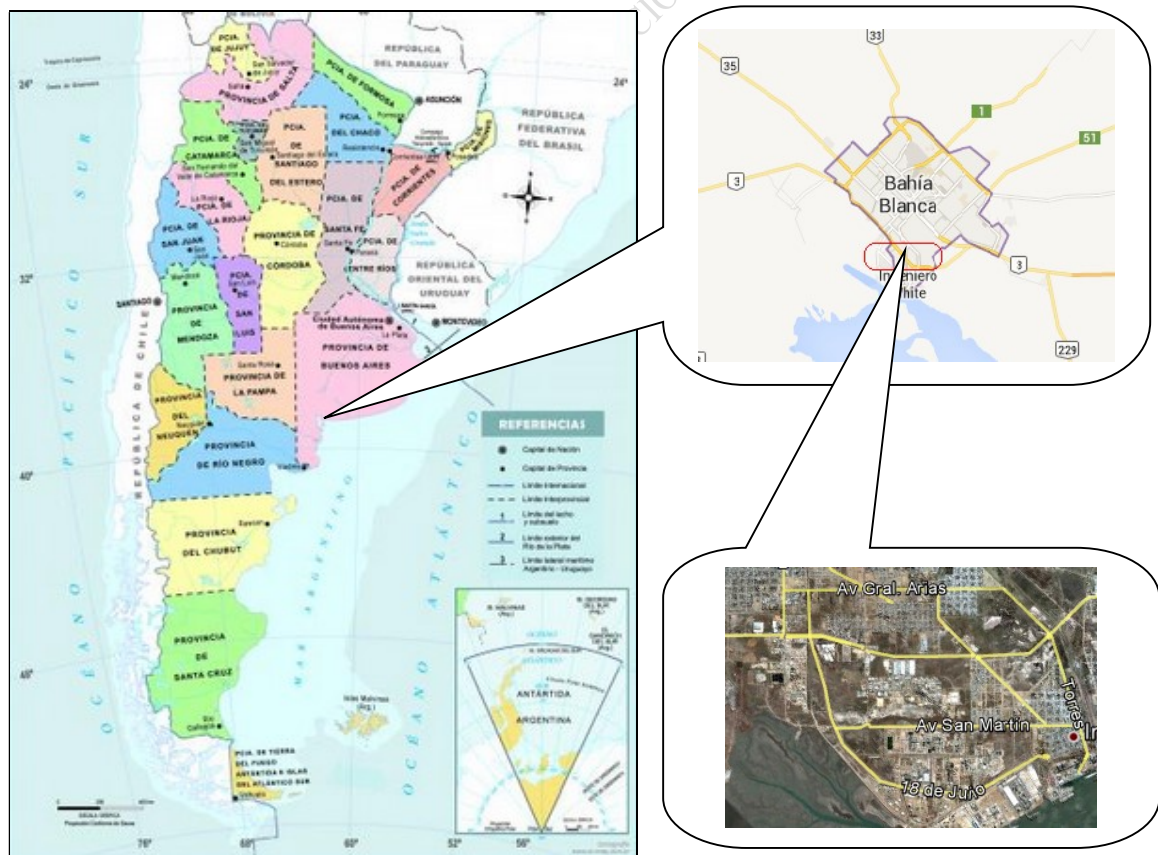


Figura N° 1. Área de Estudio.

Dentro de la ciudad de Bahía Blanca, el universo de estudio está demarcado al Norte por la calle Santa Cruz y la Avenida General Arias, al Sur por la Avenida 18 de Julio, al Oeste por el Canal Maldonado y al Este por la Ruta N° 252. Imagen N° 1.



Imagen N° 1. Universo de Estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

Los puntos que se tomaron como escenarios de accidentes se muestran en Imagen N° 2, los cuales serían:

- la rotonda de la Avenida Colón y el Camino Acceso a Puertos (también denominado Camino Parque Sesquicentenario), que se corresponde para esta investigación con los escenarios determinados para la Rotonda N°1.
- la rotonda de la Avenida Santiago Dasso y el Camino Acceso a Puertos (también denominado Camino Parque Sesquicentenario), que se corresponde para esta investigación con los escenarios determinados para la Rotonda N°2.



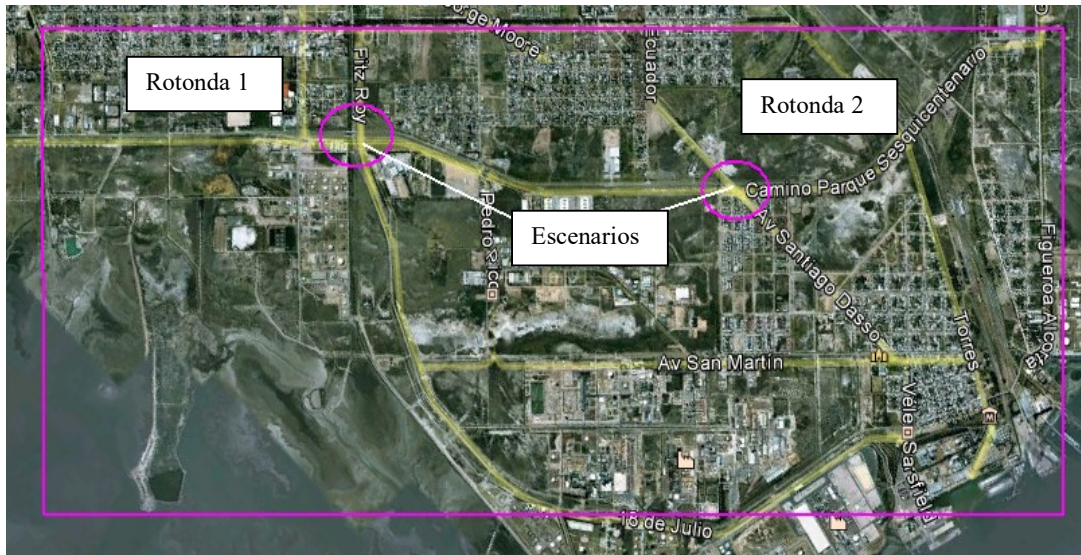


Imagen N° 2. Escenarios de accidentes. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

En la Figura N° 2 se muestran las vías de comunicación con el sector industrial de Bahía Blanca motivo de este estudio.

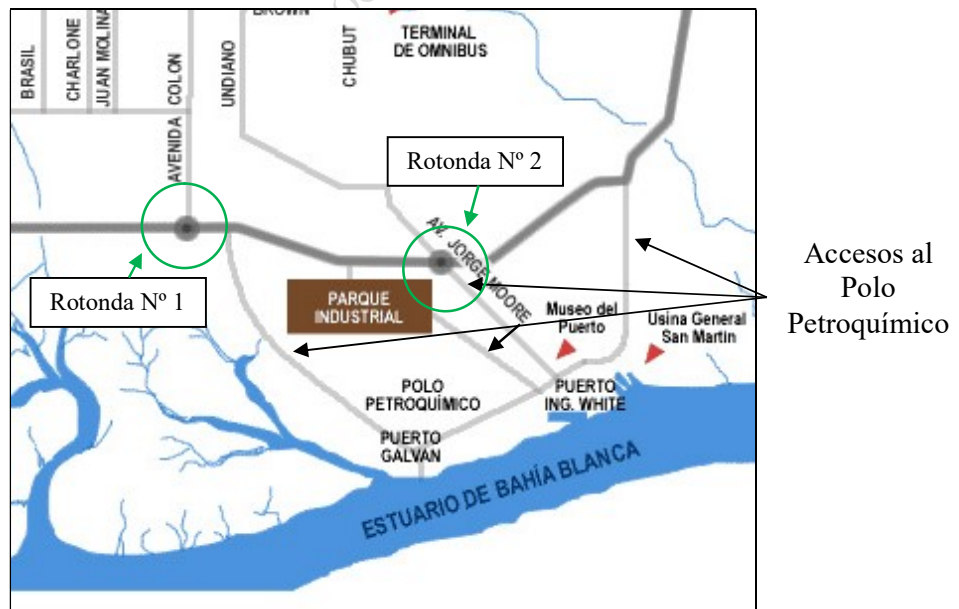


Figura N° 2. Accesos al Polo Petroquímico.

Fuente: Municipalidad de Bahía Blanca (2015)

De las visitas y relevamientos realizados in situ, surgen las Tablas N° II.1 y II.2 en las que se vuelca la frecuencia de tránsito de camiones de sustancias químicas por

escenario de estudio, correspondientes a las Rotondas N° 1 y N° 2 respectivamente. Las mismas se presentan en el Anexo II.

### 3.1.1- Estructura Urbana

Bahía Blanca es considerada una ciudad de escala intermedia. Su crecimiento determinó, desde el inicio una expansión radio concéntrica, que en forma paulatina traspasó los límites impuestos por las barreras físicas naturales (dos arroyos que atraviesan la ciudad) y artificiales (trazado férreo). Este desarrollo dio lugar a la conformación de dos sectores urbanos diferenciados: una zona del ejido que se consolidó dentro de un precinto ligeramente tropezoidal, en el cual quedaron definidos el micro y macrocentro y otro sector que se expandió más allá del precinto que mantiene el modelo de retícula, a excepción de los “barrios parque” (URB-AL 2005).

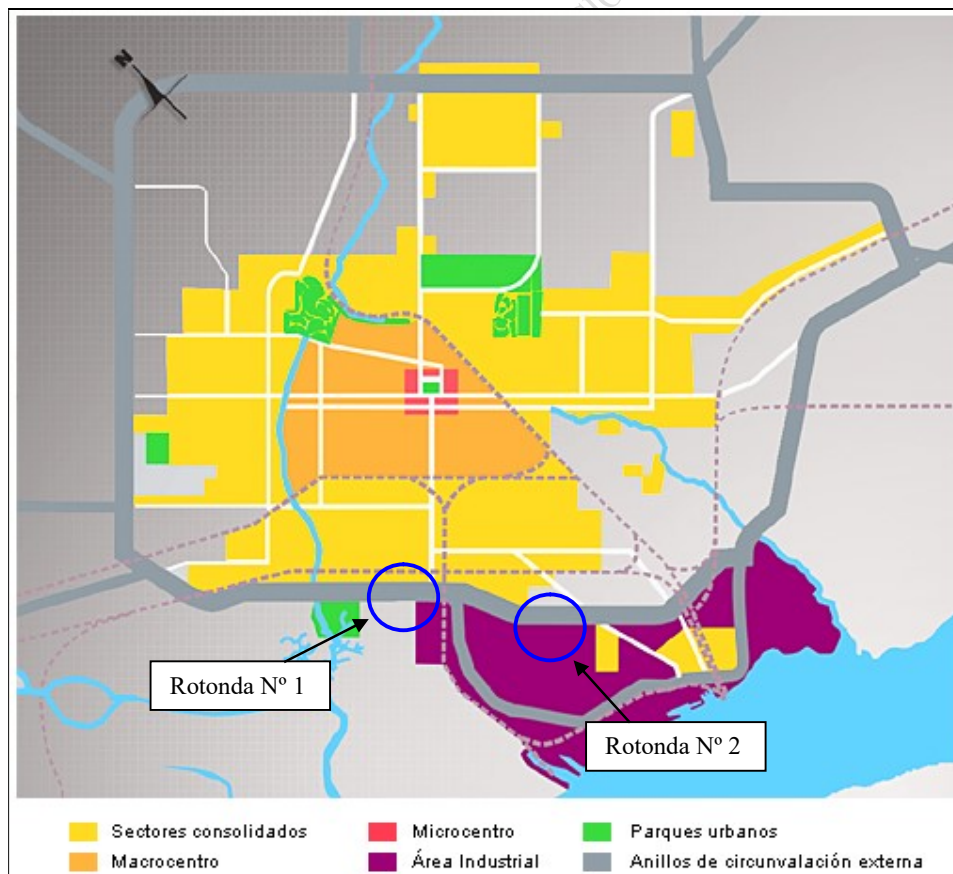


Figura N° 3. Estructura Urbana de Bahía Blanca. Fuente: URB-AL (2005)

Es posible identificar una tendencia de expansión hacia los sectores este, noroeste y noreste. Este crecimiento sumado al de otras áreas de la periferia, si bien está controlado por la normativa municipal y provincial vigentes, responden en cierta medida a las tendencias del mercado inmobiliario, por tal razón, se ha conformado en la periferia un mosaico de llenos y vacíos que da como resultado un patrón de ocupación del suelo discontinuo, con densidades de población muy bajas.

En el sector SE-SO, lindante con el Anillo de Circunvalación Externo se encuentra el frente costero de la bahía, que constituye el borde natural del partido (siendo el área de estudio de esta investigación). Representa un espacio con características ambientales muy particulares donde aun se conservan ecosistemas naturales autóctonos de importante riqueza biológica (amplios cangrejales que ocupan las planicies de marea, vegetación halófila, biodiversidad de aves, suelos salinos y limosos).

Este territorio singular, técnicamente denominado Franja Costera, es sin embargo, el soporte físico del área portuario-industrial, el nodo convergente de la estructura férrea y vial, así como el asiento de la localidad de Ingeniero White. La interfase ciudad-puerto-industria se localiza en este espacio.

En la franja costera se combinan usos industriales, ferroviarios, portuarios, residenciales y recreativos que complejizan su situación y requieren de una permanente evaluación de los potenciales conflictos y riesgos ambientales derivados de esta superposición de usos.

### **3.1.2- Polo Petroquímico**

El Polo Petroquímico de Bahía Blanca (que se observa en Figura 3 en color violeta, como área industrial), constituye una cadena productiva integrada. A partir de las actividades madre pueden identificarse varios eslabones productivos, que conforman una red horizontal (entre esas mismas actividades) y vertical (con otros sectores productivos).

Actualmente, el Polo Petroquímico Bahía Blanca está compuesto por tres tipos de industrias:

- Industria petrolera, con una capacidad instalada de 4 millones de toneladas por año. Productos: etano, naftas, GLP, fuel-oil, gas-oil, gasolina.

- Industria petroquímica: con una capacidad instalada de 3,4 millones por año. Productos: etileno, VCM, PVC, polietileno, urea, amoníaco puro.
- Industria química, con una capacidad instalada de 350 mil toneladas por año. Productos: cloro, soda cáustica.

Las empresas más importantes que componen el Polo Petroquímico son PBB Polisor (Dow Quemical), Solvay Indupa, Compañía Mega, Transportadora de Gas del Sur y Profertil.

Dentro del grupo cerealero podemos nombrar empresas tales como Toepfer, Terminal Bahía Blanca, Moreno Hnos, Cargill y Louis Dreyfus. Todas con posibilidad de exportar por vía marítima a través del Puerto de Bahía Blanca (Imagen N° 3).



Imagen N° 3. Área Portuaria de Bahía Blanca. Fuente: URB-AL (2005).

### 3.2 -Población e Índices Poblacionales

El último censo nacional reportó 301.572 habitantes (INDEC, 2010) en la aglomeración urbana de Bahía Blanca. Esta cifra representa un incremento del 5,9% frente a los 284.776 habitantes (INDEC, 2001) del censo anterior.

### 3.3 -Clima

El clima de la ciudad propiamente dicho es templado, subhúmedo con temperaturas moderadas y alta variabilidad. En el área de influencia se va tornando seco



en dirección al oeste. Según la clasificación climática de Köppen es oceánico, pese a que la ciudad está en la fachada oriental del continente, y este clima es propio de las zonas occidentales, por lo que supone un caso excepcional en la Argentina.

Los vientos en general son moderados, pero en diciembre, enero y febrero se incrementan notablemente. En su mayoría son provenientes del norte y noroeste en verano y del sur y sureste en invierno. El promedio es de 5 m/s. (valor utilizado en los modelos matemáticos). Velocidades mayores de viento favorecen la dispersión de contaminantes en aire.

El promedio anual de lluvias es de 600 mm, sin embargo hay importantes variaciones dentro de la zona. Los meses más lluviosos son: marzo, octubre, febrero y noviembre.

Existe una zona de “inversión térmica” sobre la zona de interés, que opera como reductor del espacio de difusión de gases, estrechando la zona de circulación superficial. Al aplicar el Índice de Stanford IS (potencial de contaminación atmosférica), se obtiene que la mayor concentración de contaminantes se produce entre los meses de mayo y septiembre con el máximo en julio (IS=1,2) y el mínimo se da en los meses estivales (IS=0,6). Las horas con mayor riesgo de concentración de contaminantes cerca del suelo, especialmente en la época invernal, son las horas de la noche y las primeras de la mañana, entre las 7 y las 9.

La presión atmosférica promedio de Bahía Blanca es de 1005.3 Hectopascales (Hpa). Para este estudio, se toma 1 atmósfera (1013.2 Hpa)

### **3.4 -Relieve**

Bahía Blanca ofrece el panorama de una planicie con desniveles que descienden hacia la costa, mientras al noreste aparecen terrazas de 70 metros de altura, ofreciendo una vista de la ciudad. Como contraste, coronando su sector de máximo declive, se recorta el mar, como límite natural en forma de bahía, a la cual la ciudad debe su nombre, junto con la visión blanquecina que se observa desde el mar debido a la abundante salinidad del suelo. El área de estudio se encuentra prácticamente en la base de esta planicie baja, inserta en la región geológica Cuenca del Colorado. Es una planicie litoral con relieve plano-cóncavo y nivel freático somero, ubicado a pocos kilómetros de la ría, línea de costa y nivel de base regional.

### **3.5 -Geología Local**

Debido a la suave pendiente de la zona costera inundada por la ingesión holocena se desarrolló en forma paulatina sobre la antigua línea litoral una extensa llanura de marea. La misma fue progradada por sedimentos limo arcillo-arenosos, característicos de este ambiente.

El transporte de sedimentos fue fundamentalmente en suspensión, siendo de menor proporción aquel movilizado como carga de fondo. Las corrientes de marea fueron las principales responsables de regular la dinámica sedimentaria. La historia geológica del estuario se completa con la posgradación de la llanura de marea y el progresivo descenso del nivel del mar. Esto dio lugar a la formación de la extensa llanura costera que caracteriza a la zona interna del estuario.

### **3.6 -Recursos Hídricos Superficiales**

Los cursos que desembocan en la costa del estuario y se encuentran próximos al área de estudio (Arroyo Napostá y Canal Maldonado) tienen sus nacientes en las Sierras Australes. Mientras que el Arroyo Saladillo García proviene del sector oeste.

Capítulo 4  
**ESCENARIOS**

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL UTN-FRBB

## 4. ESCENARIOS

### 4.1- Rotonda N° 1 y Rotonda N° 2

Los escenarios seleccionados para el estudio fueron aplicados en la Rotonda de la Avenida Colón y el Camino Acceso a Puertos, también llamado Camino Parque Sesquicentenario (Rotonda N° 1), y la Rotonda de la Avenida Santiago Dasso y el Camino Acceso a Puertos (Rotonda N° 2).

En la Imagen N° 4 se pueden apreciar las características físicas del área en inmediaciones de la Rotonda N° 1, y en la Imagen N° 5 las de la Rotonda N° 2.



Imagen 4. Rotonda N° 1. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

Se puede observar en la parte inferior de la Imagen N° 4 que en las cercanías de la Rotonda N° 1 se ubica una refinería (Petrobras). Además, en la parte superior de la imagen se percibe un barrio de viviendas (Loma Paraguaya).

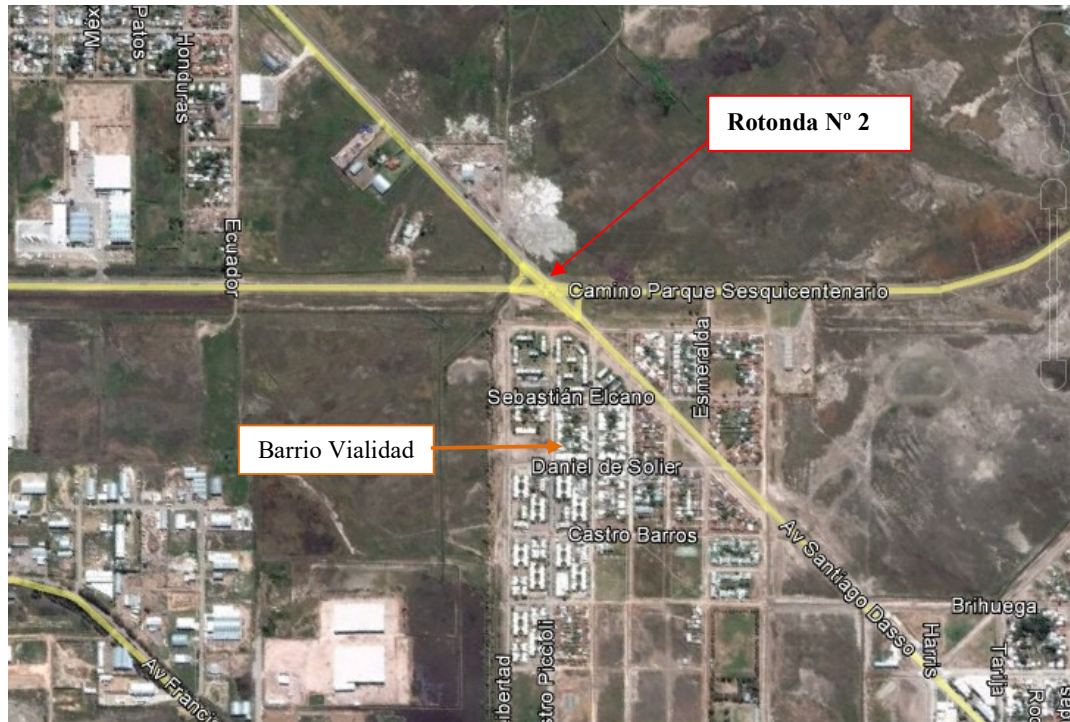


Imagen 5. Rotonda N° 2. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

En la Imagen N° 5, que muestra la Rotonda N° 2, se observa la cercanía de un complejo de viviendas (Vialidad) sobre el ingreso a la localidad de Ingeniero White.

## 4.2 - Evaluación de Escenarios

### 4.2.1 - Definición de los Escenarios de Riesgo

En base a la identificación de los peligros y las consecuencias que las mismas puedan tener, se establece un conjunto de escenarios de riesgo que serán evaluados.

Solo se evalúan aquellos peligros que por sus consecuencias severas o por su alta probabilidad puedan acontecer. La forma de evaluar en detalle un escenario, es mediante la construcción de un árbol de sucesos.

#### 4.2.2 - Descripción del Método del Árbol de Sucesos

El árbol de sucesos o análisis de secuencias de sucesos es un método inductivo que describe la evolución de un suceso iniciador sobre la base del éxito o falla de los sistemas de seguridad o barreras de protección.

Partiendo del suceso iniciador (fuga, derrame, escape, rotura de contenedor, etc.) y considerando los factores condicionantes involucrados, el árbol describe las secuencias incidentales (sucesos intermedios) que conducen a distintos eventos finales. Los eventos finales representan situaciones fuera de control capaces de producir daños sobre el medio. La técnica se utiliza con especial énfasis para describir la evolución de fugas de productos según sus características y el entorno en el cual tienen lugar.

#### 4.2.3 – Construcción del Árbol

La construcción del árbol comienza por la identificación de los N factores condicionantes de la evolución del suceso iniciador (EIN). A continuación se colocan estos como cabezales de la estructura gráfica. Partiendo del suceso iniciador se plantean sistemáticamente dos bifurcaciones: en la parte superior se refleja el éxito o la ocurrencia del suceso condicionante y en la parte inferior se representa el fallo o no ocurrencia del mismo (ver Figura N° 4). Se obtienen así 2N combinaciones o secuencias teóricas. Sin embargo, las dependencias entre los sucesos hacen que la ocurrencia o éxito de uno de ellos pueda eliminar la posibilidad de otros, reduciéndose así el número total de secuencias.

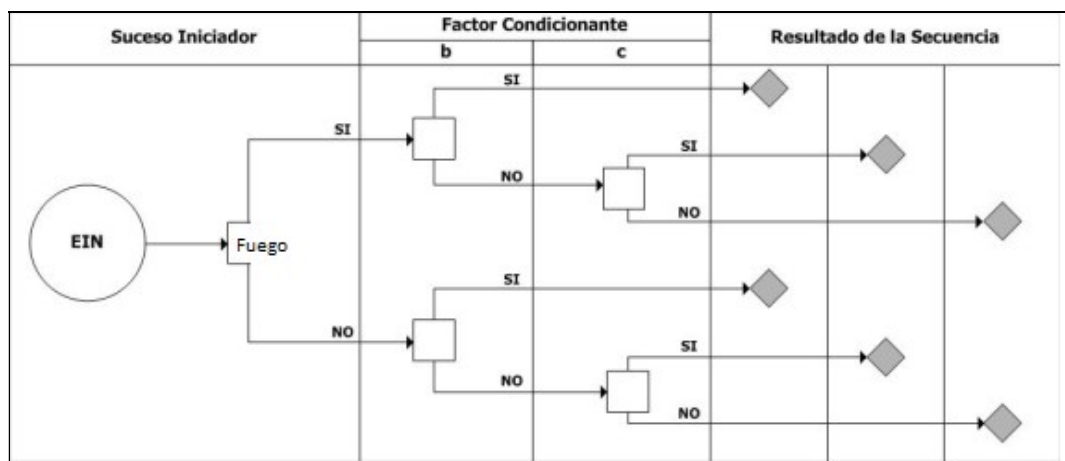


Figura N° 4. Árbol de Eventos.



#### 4.2.4 – Evaluación del Árbol

El árbol de sucesos así definido tiene las siguientes características:

El suceso iniciador viene determinado por una frecuencia (f), expresada normalmente en ocasiones por año:

- Los N factores condicionantes son sucesos definidos por su probabilidad de ocurrencia:  $p_i$ , con i entre 1 y N [ $i = (1, N)$ ].
- Los sucesos complementarios de estos tienen asociados una probabilidad de  $1 - p_i$ ,  $i = (1, N)$ .

La obtención de los valores  $p_i$  se basa generalmente en datos bibliográficos, estimaciones de expertos o en la aplicación de la técnica del árbol de fallos.

#### 4.3 – Identificación de Escenarios

##### 4.3.1 – Escenarios de Accidente Camión con GLP (E01)

a- Rotura orificio 10 mm

b- Rotura catastrófica

- a.1 - Descarga bifásica
- a.2 - Formación de charco
- a.3 - Dispersión gaussiana
- a.4 - Incendio de charco
- a.5 - Ignición de nube no confinada

- b.1 - Formación de charco
- b.2 - Dispersión gaussiana
- b.3 - Incendio de charco
- b.4 - Ignición de nube no confinada
- b.5 - BLEVE

Eventos

##### 4.3.2 – Escenarios de Accidente Camión con Gasolina (E02)

a- Rotura orificio 10 mm

b- Rotura catastrófica

- a.1 - Descarga de líquido
  - a.2 - Formación de charco
  - a.3 - Dispersión gaussiana
  - a.4 - Incendio de charco
  - a.5 - Ignición de nube no confinada
- b.1 - Formación de charco
  - b.2 - Dispersión gaussiana
  - b.3 - Incendio de charco
  - b.4 - Ignición de nube no confinada
- } Eventos

#### 4.3.3 – Escenarios de Accidente Camión con Etileno (E03)

- a- Rotura orificio 10 mm
  - b- Rotura catastrófica
- a.1 - Descarga de líquido
  - a.2 - Formación de charco
  - a.3 - Dispersión gaussiana
  - a.4 - Incendio de charco
  - a.5 - Ignición de nube no confinada
- b.1 - Formación de charco
  - b.2 - Dispersión gaussiana
  - b.3 - Incendio de charco
  - b.4 - Ignición de nube no confinada
- } Eventos

#### 4.3.4 – Escenarios de Accidente Camión con Cloro Líquido (E04)

- a- Rotura orificio 10 mm
  - b- Rotura catastrófica
- a.1 - Descarga de líquido
  - a.2 - Formación de charco
  - a.3 - Dispersión gaussiana
- b.1 - Formación de charco
  - b.2 - Dispersión gaussiana
- } Eventos



#### 4.3.5 – Escenarios de Accidente Camión con Oxígeno Líquido (E05)

a- Rotura orificio 10 mm

b- Rotura catastrófica

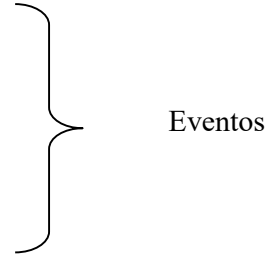
a.1 - Descarga de líquido

a.2 - Formación de charco

a.3 - Dispersión gaussiana

b.1 - Formación de charco

b.2 - Dispersión gaussiana



#### 4.4 – Ocurrencia de Eventos

##### 4.4.1 - Estimación de Probabilidad de Ocurrencia del Evento Peligroso

Es la probabilidad que el escenario en análisis se desarrolle afectando al medio. Para cada una de las secuencias establecidas en el árbol de secuencias, se procede a la determinación de la probabilidad de ocurrencia del evento por producto de la frecuencia del suceso iniciador y la probabilidad de los sucesos intermedios de la secuencia, llegando de esta manera a obtener la probabilidad de ocurrencia del evento final. Para determinar la probabilidad de ocurrencia se recurre a bancos de datos específicos o bibliográficos que contienen registros de fallas similares.

##### 4.4.2 – Estimación de Frecuencia de Accidentes

La frecuencia de accidentes e incidentes puede estimarse a partir de registros históricos, para esto es necesario que el número de accidentes ocurridos sean referidos a un periodo de exposición. Así, es posible establecer la frecuencia de un evento tope sin requerir de una detallada modelación de la frecuencia por medio de árbol de fallas o árbol de eventos. La frecuencia de un evento en el transporte de materiales y residuos peligrosos puede expresarse como el número de eventos esperados por unidad de distancia recorrida (evento/vehículo-kilómetro), o también puede hacerse con respecto a una unidad de volumen y de distancia (evento/tonelada-kilómetro) (Abkowitz y Cheng 1989).

La tasa de accidentes de camiones según el tipo de carretera para Estados Unidos se presenta a continuación en la Tabla N° 6.

Tipo de Carretera	Tasa de accidentes
Acceso controlado	$3,8 \times 10^{-6}$ /millas
Acceso no controlado	$28,4 \times 10^{-6}$ /millas
Calles locales	$15,6 \times 10^{-6}$ /millas

Tabla 6. Tasa de Accidentes de Camiones. Fuente: Nicolet-Monnier, M., Gheorghe A (1996).

Para el caso en estudio se tomará de referencia esta última tabla, como “Acceso no controlado”. Este concepto indica que la carretera por la cual circulan los camiones no presenta puestos de controles fijos próximos a ciudades o polos industriales de relevancia.

Finalmente, un típico valor de tasa de accidente en rutas es del orden de los  $3,0 \times 10^{-6}$  (Nicolet-Monnier, M., Gheorghe A - 1996). Este valor corresponde a rutas abiertas, es decir, en tramos alejados a los accesos controlados o no controlados.

#### 4.5 - Presentación de Eventos

##### 4.5.1 - Estimación de Consecuencias del Evento Peligroso

Las consecuencias sobre personas e instalaciones se cuantifican mediante el empleo de modelos que vinculan el suceso original con los efectos previstos. Los modelos deben contemplar las diferentes evoluciones que puede tener un evento, entre las cuales podemos mencionar: explosión de nube de vapor no confinada, flash fire, BLEVE, formación y dispersión de una nube sin que ocurra ignición, jet fire, pool fire, etc. Estos modelos deben ser alimentados con información del entorno, condiciones meteorológicas, descripción de las sustancias manejadas, etc.

La cuantificación de las consecuencias se realiza en función de tres parámetros que indican la intensidad física del fenómeno: radiación, sobrepresión o concentración. Pero falta establecer el daño que el evento provoca sobre el medio. El paso siguiente, es estimar la vulnerabilidad de personas e instalaciones ante efectos físicos de una magnitud determinada. La vulnerabilidad de las personas se expresa como el número de individuos que previsiblemente pueden ser afectados con un cierto nivel de daño a causa del accidente. El nivel de daños debe definirse y puede variar desde molestias leves, hasta la muerte de los individuos expuestos. Por otro lado, la vulnerabilidad de las instalaciones se cuantifica en último término, utilizando magnitudes económicas,

aunque pueden establecerse daños físicos tales como demolición parcial de edificios, rotura de cristales, incendios, etc.

#### 4.5.2 - Estimación del Riesgo

Hay diferentes formas de estimar el riesgo mediante la combinación de frecuencia de ocurrencia y consecuencias del suceso no deseado. Básicamente se sintetizan en dos metodologías: cuantitativa y semicuantitativa.

##### *Cuantitativa*

Se basa en calcular un índice de riesgo y su comparación con valores aceptados internacionalmente. Hay dos índices de riesgo, uno individual y otro social. Por ejemplo, en la Tabla N° 7 se muestra el riesgo de muerte para distintas actividades no laborables.

Puede definirse “riesgo individual” como el riesgo a una persona en la proximidad de un peligro, considerando la naturaleza de la lesión al individuo, la posibilidad de que la misma ocurra y el período de tiempo en que puede ocurrir. El riesgo individual puede ser estimado para los individuos más expuestos, para grupos de individuos en lugares determinados o para un individuo promedio en una zona de efectos.

El “riesgo social” es una medida del riesgo al que está expuesto un grupo de personas.

Riesgos de la Actividad		
Actividades No Laborables	Fumar cigarrillos (20/día)	$5,0 \times 10^{-3}$
	Escalar (100 hs/año)	$4,0 \times 10^{-3}$
	Canoísmo (200 hs/año)	$2,0 \times 10^{-3}$
	Viajar en moto	$2,0 \times 10^{-3}$
	Viajar en auto	$1,7 \times 10^{-4}$
	Actividades domésticas	$9,0 \times 10^{-5}$

Tabla 7. Riesgos de la actividad. Fuente: Crowl, D., Louvar, J. (2011).

El concepto de “aceptabilidad de los riesgos” se inicia con un artículo de Starr (1969), quien, basándose en las "preferencias" implícitas de los individuos, supuso que

mediante un balance de daños y beneficios éstos son capaces de determinar hasta qué punto aceptan un riesgo. Según Starr, la aceptación de la sociedad del riesgo voluntario es aproximadamente la misma que la aceptación de su muerte por enfermedad. Este valor es de aproximadamente  $1 \times 10^{-6}$  fatalidades por hora de exposición por persona o asumiendo una exposición continua de 8760 horas por año,  $8,76 \times 10^{-3}$  fatalidades por persona por año. Por lo tanto un riesgo de  $1,0 \times 10^{-3}$  fatalidades por persona por año es generalmente aceptable para trabajadores industriales. En la Tabla N° 8 se presentan los Criterios de Tolerabilidad del Riesgo Individual a Terceros.

Criterios de Tolerabilidad del Riesgo Individual a Terceros		
Todas las Causas del Proceso	Causas Específicas del Proceso	Descripción
$R \leq 1,0 \times 10^{-4}/\text{año}$	$R \leq 1,0 \times 10^{-5}/\text{año}$	Aceptable para terceros industriales, (afectación dentro de una planta industrial química, petroquímica o similar)
$R > 1,0 \times 10^{-4}/\text{año}$	$R > 1,0 \times 10^{-5}/\text{año}$	Inaceptable para terceros
$1,0 \times 10^{-5}/\text{año} < R \leq 1,0 \times 10^{-4}/\text{año}$	$1,0 \times 10^{-6}/\text{año} < R \leq 1,0 \times 10^{-5}/\text{año}$	Aplicación de análisis de riesgo para implementar acciones que disminuyan el riesgo
$R \leq 1,0 \times 10^{-5} /\text{año}$	$R \leq 1,0 \times 10^{-6}/\text{año}$	Aceptable

Tabla 8. Criterios de Tolerancia del Riesgo Individual a terceros. Fuente: Rodríguez, J.A. (1991).

Una de las formas de representar el riesgo es uniendo puntos que tienen el mismo riesgo determinando contornos. Estos contornos de riesgo individual o isoriesgos señalan la frecuencia esperada de un evento capaz de causar un nivel específico de daño en el sitio indicado, independientemente que una persona se encuentre en el sitio en ese momento (Figura 5).

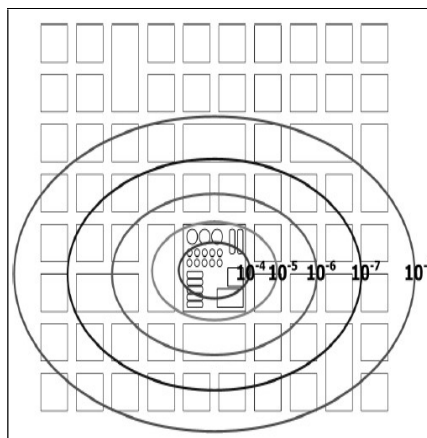


Figura 5. Curvas de Isoriesgo. Fuente: ARPCA (2006).

*Semicuantitativa*

Esta metodología es una combinación de cálculo numérico y estimación conceptual. Por un lado, se calculan las consecuencias de un evento y la frecuencia de ocurrencia y se representan mediante una matriz que permite ubicar el riesgo de cada escenario analizado en una zona tolerable o no tolerable. La matriz se denomina matriz de riesgo y es una tabla donde se encuentran representadas las consecuencias de un accidente y la frecuencia de ocurrencia. De la intersección de ambos valores surgirá el nivel de riesgo del suceso.

En la matriz hay tres zonas diferenciadas, una de riesgo aceptable, otra no aceptable y otra intermedia que representa situaciones que pueden presentar mejoras mediante medidas de prevención, protección y/o mitigación. Esta última zona permite mejoras según el concepto ALARP (**A**s **L**ow **A**s **R**azonable **P**ractical), es decir, reducir el riesgo tanto como sea razonablemente práctico adoptando medidas de prevención y control.

Para esta investigación, se estimó el riesgo utilizando la metodología “cuantitativa”.

Criterio Público de Riesgo Individual

La Figura 6 muestra los criterios de tolerancia de riesgo individual para el público, adoptado en diferentes países:

		EPA de Australia del Oeste	Holanda	Reino Unido	PVDSA Riesgo público
Riesgo Individual de Fatalidad (por año)	1x10 <sup>-3</sup>				
	1x10 <sup>-4</sup>				
	1x10 <sup>-5</sup>				
	1x10 <sup>-6</sup>				
	1x10 <sup>-7</sup>				
	1x10 <sup>-8</sup>				
	1x10 <sup>-9</sup>				

Figura 6. Criterios de Tolerancia de Riesgo Individual. Fuente: ARPCA (2006).

	Inaceptable		Intermedia		Aceptable
--	-------------	--	------------	--	-----------

#### 4.6 - Características de las Sustancias Químicas Seleccionadas

Las sustancias inflamables y/o peligrosas que se tuvieron en cuenta para la realización de este estudio son: Gas Licuado de Petróleo (GLP), Gasolina, Cloro, Etileno y Oxígeno; que se verán representados en fugas totales y parciales (orificios) para camiones cisterna.

Se consideraron estas sustancias debido a su presencia en el área de estudio en cuanto al transporte por camión de las mismas y a su peligrosidad. En el caso particular del Oxígeno líquido, las consecuencias de una fuga masiva de este gas incrementarían los riesgos de fuego y explosión.

##### 4.6.1 - Gas Licuado de Petróleo:

El Gas Licuado del Petróleo (GLP) es una mezcla de hidrocarburos extraídos del procesamiento del gas natural o del petróleo, gaseosos en condiciones atmosféricas, que la mezcla se licua fácilmente por enfriamiento o compresión, constituido principalmente por propano y butano. Comúnmente se llama gas propano.

La Tabla 8 presenta las propiedades del GLP:

Propiedades	Propano	Butano	Gas Natural (Metano)
Fórmula química	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	CH <sub>4</sub>
Punto de ebullición (a Presión atmosférica)	-42 °C	-1 °C	-162 °C
Temperatura de ignición	493 - 604 °C	482 - 537 °C	621 °C
Límite superior de inflamabilidad	9.6%	8.6%	14%
Límite inferior de inflamabilidad	2.1%	1.5%	4%
Relación ideal de combustión (aire-gas)	24 a 1	31 a 1	10 a 1
Poder calorífico (líquido)	90.9 BTU/gal	102.9 BTU/gal	-
Poder calorífico (gas)	88.8 BTU/m <sup>3</sup>	115.2 BTU/m <sup>3</sup>	35.6 BTU/m <sup>3</sup>

Tabla 9. Propiedades del GLP. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6.2 - Gasolina:

La gasolina es una mezcla de hidrocarburos alifáticos obtenida del petróleo por destilación fraccionada, que se utiliza como combustible en motores de combustión interna con encendido por chispa convencional o por compresión, así como en estufas, lámparas, limpieza con solventes y otras aplicaciones.

Propiedades	Gasolina
Fórmula química	$C_{12}H_{23}$
Punto de ebullición (a Presión atmosférica)	33 °C – 221 °C
Temperatura de ignición	-40 °C
Límite superior de inflamabilidad	7.4%
Límite inferior de inflamabilidad	1.4%
Relación ideal de combustión (aire-gas)	15 a 1
Poder calorífico (líquido)	42.5 MJ/Kg.

Tabla 10. Propiedades de la Gasolina. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6.3 - Etileno:

El etileno o eteno es un compuesto químico orgánico formado por dos átomos de carbono enlazados mediante un doble enlace. Es uno de los productos químicos más importantes de la industria química, siendo el compuesto orgánico más utilizado en todo el mundo.

Propiedades	Etileno
Fórmula química	$CH_2=CH_2$
Punto de ebullición (a Presión atmosférica)	-104 °C
Temperatura de ignición	490 °C
Límite superior de inflamabilidad	36 %
Límite inferior de inflamabilidad	2.7 %
Relación ideal de combustión (aire-gas)	15 a 1
Poder calorífico (líquido)	13800 Kcal/m <sup>3</sup>

Tabla 11. Propiedades del Etileno. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6.4 - Cloro Líquido:

El cloro es un elemento químico situado en el grupo de los halógenos (grupo VII A) de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es Cl. En condiciones normales y en estado puro forma dicloro que es un gas tóxico amarillo-verdoso formado por moléculas diatómicas ( $\text{Cl}_2$ ), unas 2,5 veces más pesado que el aire, de olor desagradable y tóxico. Es un elemento abundante en la naturaleza y se trata de un elemento químico esencial para muchas formas de vida.

Propiedades	Cloro
Fórmula química	$\text{Cl}_2$
Densidad	3.2 $\text{Kg/m}^3$
Punto de ebullición (a Presión atmosférica)	-34 °C
Umbral de olor	0.3 ppm en aire
Coefficiente de expansión (20°C, 1 atm.)	7.1 gr/l
Presión de vapor	100%
Relación gas/líquido	21.9%

Tabla 12. Propiedades del Cloro.

#### 4.6.5 - Oxígeno Líquido:

En el comercio, el oxígeno líquido está clasificado como un gas industrial y ha sido extensamente usado con propósitos industriales y médicos.

Propiedades	Oxígeno
Fórmula química	$\text{O}_2$
Densidad	1141 $\text{Kg/m}^3$
Punto de ebullición (a Presión atmosférica)	-182.9 °C
Coefficiente de expansión (20°C, 1 atm.)	1:861
Calor de evaporación	212.5 Kj/Kg
Peso molecular	31.9 Kg/Kmol

Tabla 13. Propiedades del Oxígeno.



#### **4.7 - Simulaciones**

De acuerdo al marco teórico, para Rotondas N° 1 y N° 2, se adoptaron en las simulaciones de consecuencias los escenarios para rotura parcial (10 mm) y la rotura total del orificio de fuga. Para cada escenario y ambas roturas de orificio mencionadas se presentan, mediante figuras, el Árbol de Eventos a partir de un evento inicial (EIN), y el Esquema de Fuga correspondiente al modelo corrido con los resultados numéricos obtenidos, que se muestran en las tablas de simulación que se adjuntan en el Anexo V.

Para el escenario de cada sustancia, bajo las dos condiciones de rotura y una vez obtenidos los resultados, se evalúan la probabilidad de ocurrencia de cada escenario y el alcance de los efectos. En particular, para la evaluación de los efectos, las tablas indican a que distancia se alcanzan los valores umbrales de letalidad, según el porcentaje de interés, en función de una sobrepresión, una radiación y una dispersión de gas fugado. Por último, con estos resultados, mediante imágenes en ambas rotondas, se muestra a que distancia se alcanzan las curvas de consecuencias o daños, considerando el evento (Intermedio-Final).

##### **4.7.1 - Escenario GLP: Rotura Parcial (10 mm)**

En la Figura 7 se representan las distintas posibilidades de ocurrencias o eventos para un escenario de fuga parcial de GLP de un camión cisterna. El Esquema 1 muestra además los valores obtenidos en cada secuencia.

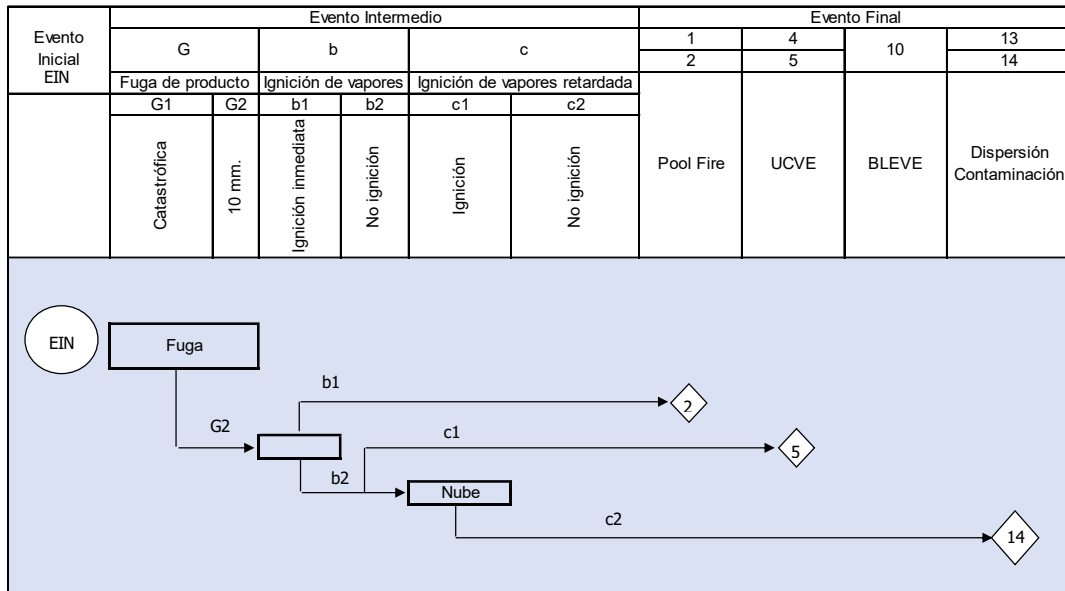
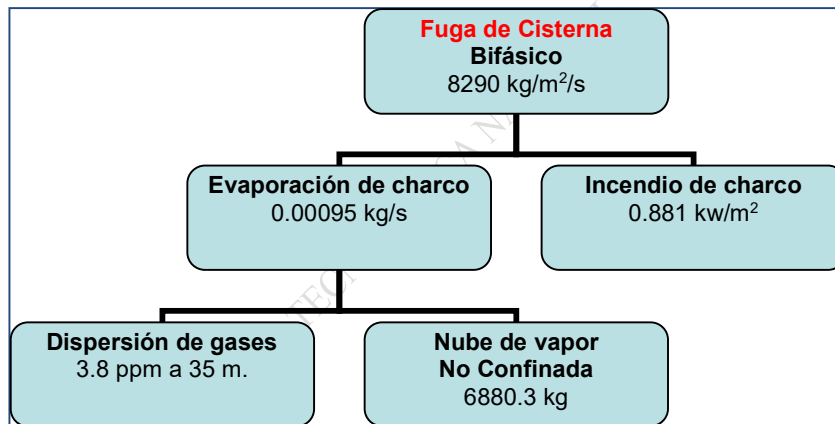


Figura 7. Escenario GLP Rotura Parcial.



Esquema 1. Fuga Parcial de Cisterna con GLP.

Evento Final	Frecuencia G2	b1	b2	c1	c2	Frecuencia (veces/año)
2 pool fire	1,36E-04	0,07	0,93	1		9,52E-06
5 UCVE				0,5		6,32E-05
14 Dispersión/ contaminación				0,5		6,32E-05

Figura 8. Probabilidad de Ocurrencia de Escenarios GLP Rotura Parcial.

### 4.7.2 - Resultados Escenario GLP: Rotura Total

En la Figura 8 se representan las distintas posibilidades de ocurrencias o eventos para un escenario de fuga total de GLP de un camión cisterna. El Esquema 2 muestra además los valores obtenidos en cada secuencia.

La Figura 9 presenta la probabilidad de ocurrencia de un evento para un escenario de fuga de GLP, donde se observa que la situación más factible de suceder sería la dispersión del contaminante con o sin ignición.

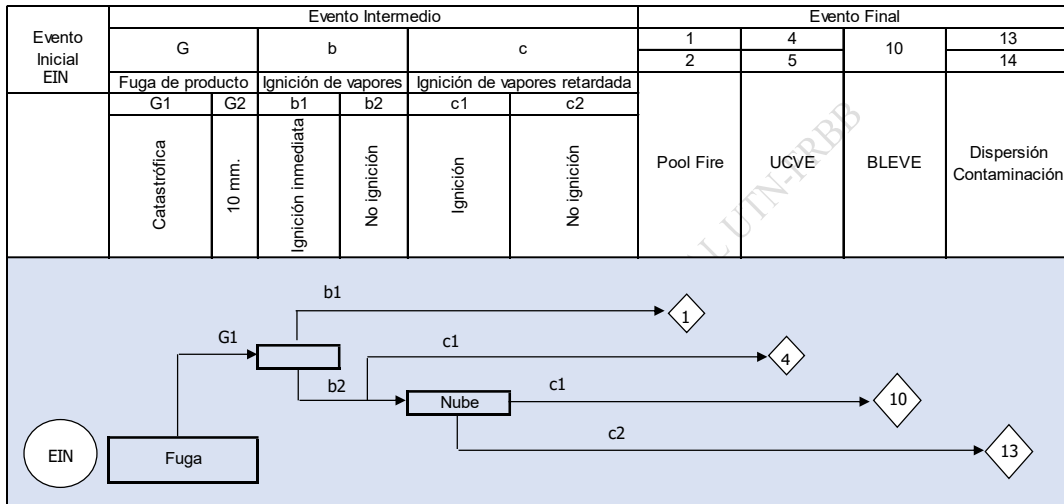
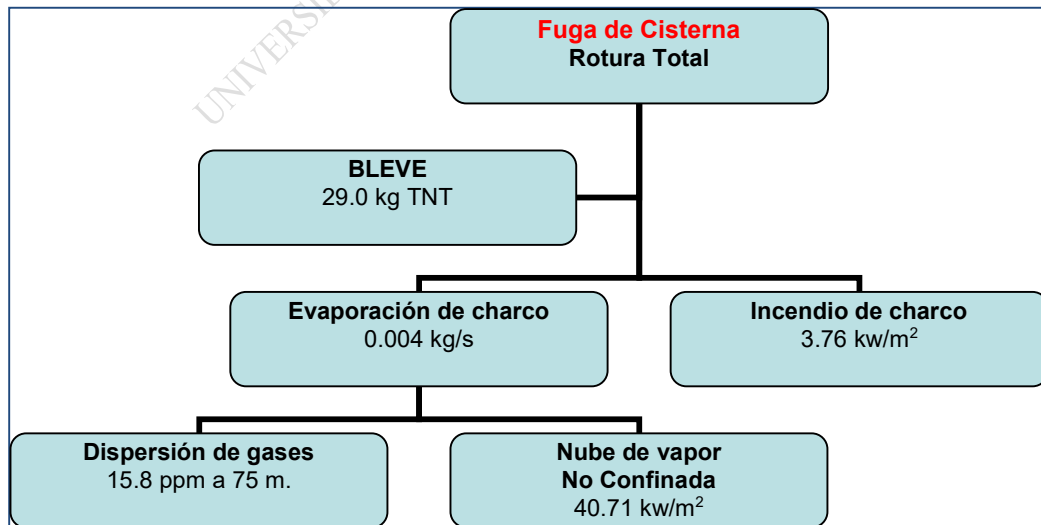


Figura 9. Escenario GLP Rotura Total.



Esquema 2. Fuga Total de Cisterna con GLP.

Evento Final	Frecuencia G1	b1	b2	c1	c2	Frecuencia (veces/año)
1 pool fire	1,75E-05	1				1,75E-07
4 UCVE		0,01	0,99	0,1	0,9	1,56E-06
10 BLEVE					0,1	1,73E-07
13 Dispersión/contaminación				0,9		1,56E-05

Figura 10. Probabilidad de Ocurrencia de Escenarios GLP Rotura Total.

DAÑO PROVOCADO	Evento		Personas				
	Intermedio	Final	Letalidad	Sobrepresión*	Radiación**	Concentración	Distancia
	EINT	EF	%	bar	kw/m <sup>2</sup>	ppm	m
SOBREPRESIÓN	G1	4	1	0,16	-	-	180
			50	0,94			63
			99	5,28			29
	G2	5	1	0,16			180
			50	0,94			63
			99	5,28	-	-	29
RADIACIÓN	G1	1	1		7,25		9
			50		14,3		5
			99		28,4		2
	G1	10	1		7,25		189
			50		14,3		127
			99		28,4		76
	G2	2	1		7,25		5
			50		14,3		3
			99		28,4		1
DISPERSIÓN	<b>Dispersión</b>						
	G1	13	-	-	-	2100***	-
	G2	14	-	-	-	2100***	-

Figura 11. Efectos Escenarios GLP.

\*Valores umbrales sobrepresión: Fuente Crown and Louvar, 1990.

\*\*Valores umbrales radiación: Fuente Tsao and Perry, 1979.

\*\*\*IDLH: Fuente NIOSH.

Los datos de la Figura 11 indican a que distancia se alcanzan los valores umbrales de letalidad, según el porcentaje de interés, en función de una sobrepresión, una radiación y una dispersión de gas fugado. Se puede resaltar que una sobrepresión podría generar la muerte de una persona situada a unos 180 m. de distancia del evento. También, que a 127 m. de distancia del accidente el 50% de las personas que se encuentran en el área perderían la vida por efectos de la radiación de una BLEVE.

Las Imágenes 6 y 7 muestran las consecuencias de una sobrepresión a partir de una ignición de GLP para las dos rotondas en estudio, verificándose el alcance de áreas pobladas e industriales para casos de 1% de letalidad.

Las curvas de consecuencias se identifican con los siguientes colores representando los distintos niveles de letalidad:

% Letalidad	
1	Red
50	Amarillo
99	Verde



Imagen 6. Rotonda 1: Curvas de Consecuencias para Sobrepresión (GLP).

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.





Imagen 7. Rotonda 2: Curvas de Consecuencias para Sobrepresión (GLP).

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.



Imagen 8. Rotonda 1: Curvas de Consecuencias para Radiación por BLEVE (GLP).

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.



La Imagen 8 demuestra para la Rotonda 1 que un efecto BLEVE también alcanzaría construcciones industriales y viviendas aledañas a la rotonda escenario, aunque con efectos más devastadores, debido a que la curva de consecuencia del 50% de mortalidad afectaría áreas pobladas (curva color amarillo).



Imagen 9. Rotonda 2: Curvas de Consecuencias para Radiación por BLEVE (GLP).

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

En la Imagen 9 se observa la misma situación anterior, para la Rotonda 2, donde altos porcentajes de letalidad son representados.

#### 4.7.3 - Resultados Escenario Gasolina: Rotura Parcial (10 mm)

En la Figura 12 se representan las distintas posibilidades de ocurrencias o eventos para un escenario de fuga parcial de Gasolina de un camión cisterna. El Esquema 3 muestra además los valores obtenidos en cada secuencia.

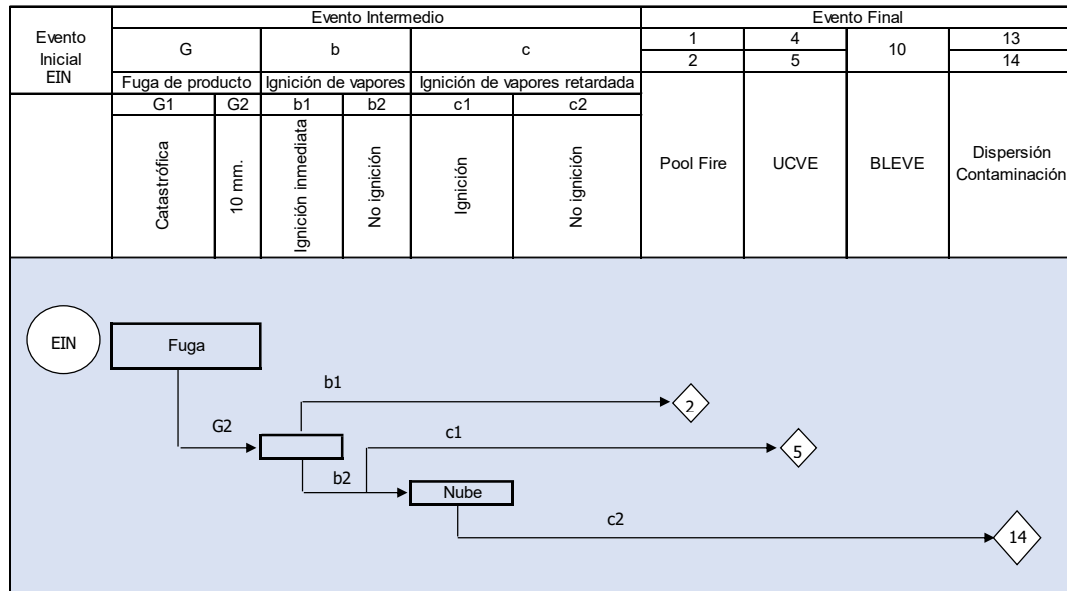
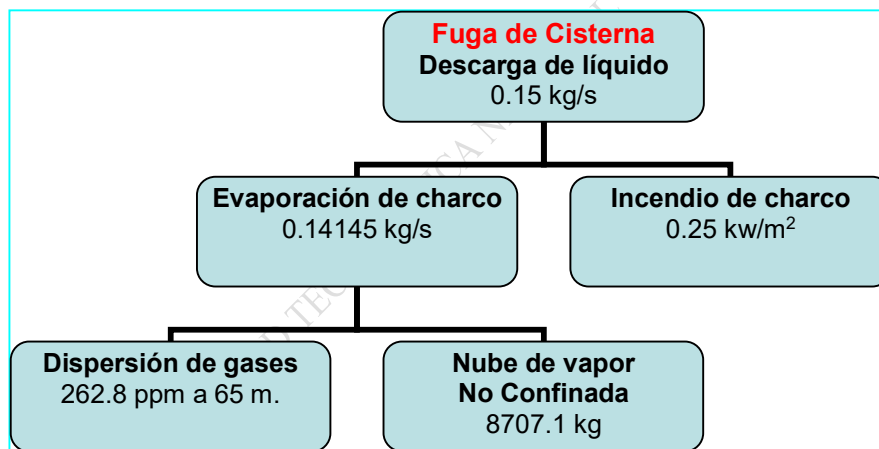


Figura 12. Escenario Gasolina Rotura Parcial.



Esquema 3. Fuga Parcial de Cisterna con Gasolina.

Evento Final	Frecuencia G2	b1	b2	c1	c2	Frecuencia (veces/año)
2 pool fire	1,36E-04	0,03	0,97	1		4,08E-06
5 UCVE				0,2		2,64E-05
14 Dispersión/ contaminación				0,8		1,06E-04

Figura 13. Probabilidad de Ocurrencia de Escenarios Gasolina Rotura Parcial.

La Figura 13 presenta la probabilidad de ocurrencia de un evento para un escenario de fuga de Gasolina, donde se observa que la situación más factible de suceder sería la dispersión del contaminante en aire conformando una nube.



DAÑO PROVOCADO	Evento		Personas					
	Intermedio	Final	Letalidad	Sobrepresión	Radiación	Concentración	Distancia	
	EINT	EF	%	bar	kw/m <sup>2</sup>	ppm	m	
SOBREPRESIÓN	G1	4	1	0,16			195	
			50	0,94			68	
			99	5,28			32	
	G2	5	1	0,16			195	
			50	0,94			68	
			99	5,28			32	
RADIACIÓN	G1	1	1		7,25		5	
			50		14,3		3	
			99		28,4		1	
		10	1		7,25			
			50		14,3			
			99		28,4			
	G2	2	1		7,25		3	
			50		14,3		2	
			99		28,4		-	
DISPERSIÓN	<b>Dispersión</b>							
	G1	13	-	-	-	1000*	-	
	G2	14	-	-	-	1000*	-	

Figura 14. Efectos Escenarios Gasolina.

\*IDLH: Fuente NIOSH.

Los datos de la Figura 14 indican a que distancia se alcanzan los valores umbrales de letalidad, según el porcentaje de interés, en función de una sobrepresión, una radiación y una dispersión de gas fugado. Se puede resaltar que una sobrepresión podría generar la muerte de una persona situada a unos 195 m. de distancia del evento.

#### 4.7.4 - Resultados Escenario Gasolina: Rotura Total

En la Figura 15 se representan las distintas posibilidades de ocurrencias o eventos para un escenario de fuga total de Gasolina de un camión cisterna. El Esquema 4 muestra además los valores obtenidos en cada secuencia.

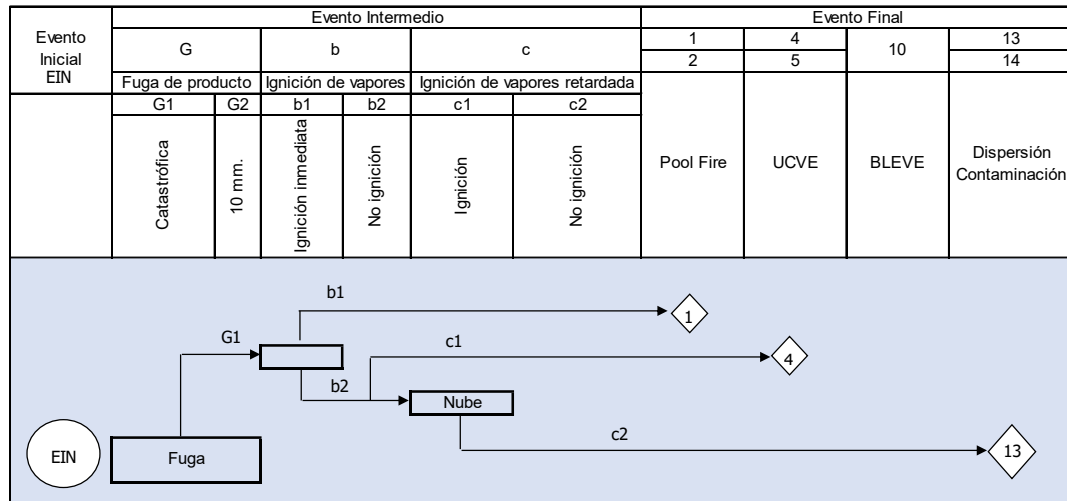
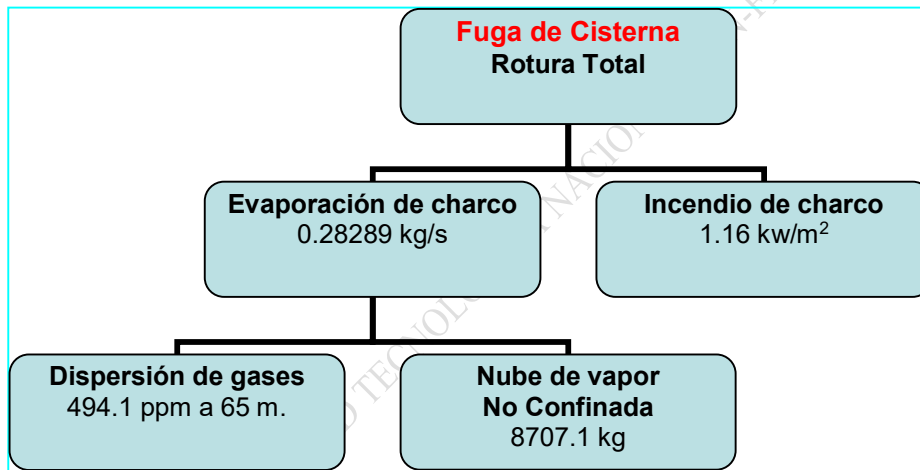


Figura 15. Escenario Gasolina Rotura Total.



Esquema 4. Fuga Total de Cisterna con Gasolina.

Evento Final	Frecuencia G1	b1	b2	c1	c2	Frecuencia (veces/año)
1 pool fire	1,75E-05	0,01	0,99	0,2	0,8	1,75E-07
4 UCVE						3,47E-06
13 Dispersión/ contaminación				1,39E-05		

Figura 16. Probabilidad de Ocurrencia de Escenarios Gasolina Rotura Total.

Las Imágenes 10 y 11 muestran las consecuencias de una sobrepresión a partir de una ignición de Gasolina para las dos rotondas en estudio, Rotonda 1 y Rotonda 2 respectivamente, verificándose el alcance de áreas pobladas e industriales para casos de 1% de letalidad.



Imagen 10. Rotonda 1: Curvas de Consecuencias para Sobrepresión (Gasolina).

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.



Imagen 11. Rotonda 2: Curvas de Consecuencias para Sobrepresión (Gasolina).

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

#### 4.7.5 - Resultados Escenario Etileno: Rotura Parcial (10 mm)

En la Figura 17 se representan las distintas posibilidades de ocurrencias o eventos para un escenario de fuga parcial de Etileno de un camión cisterna. El Esquema 5 muestra además los valores obtenidos en cada secuencia.

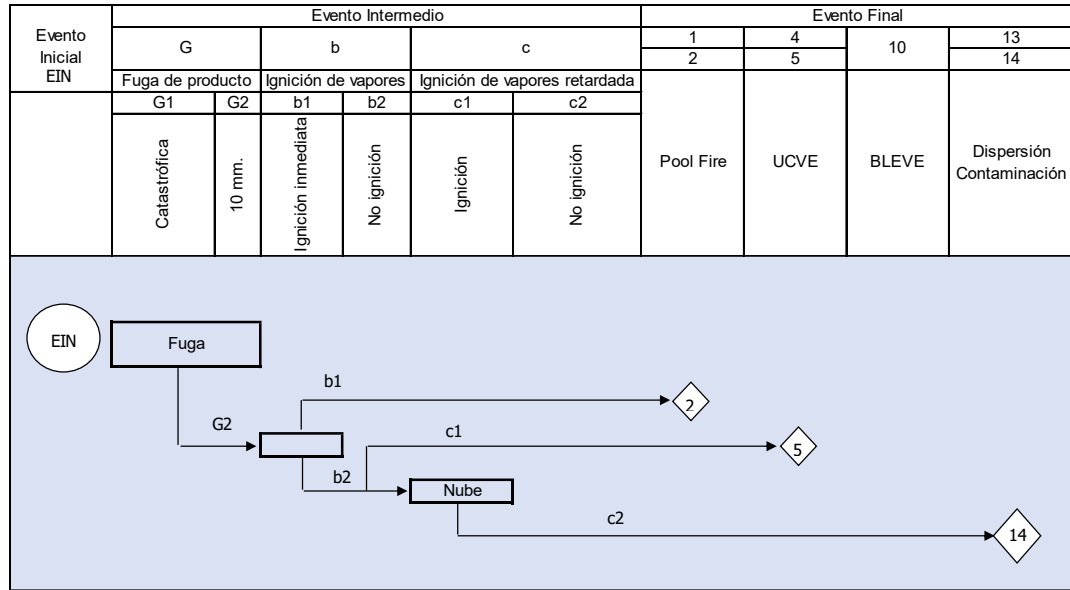
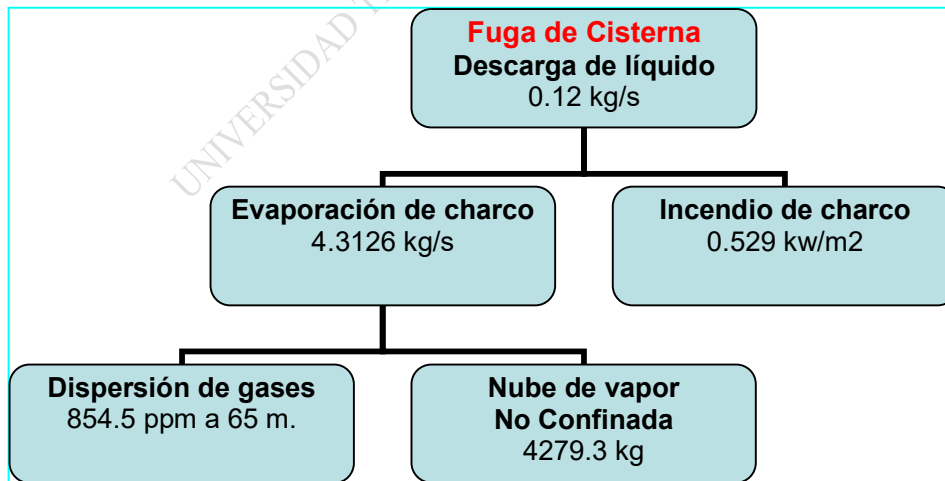


Figura 17. Escenario Etileno Ruptura Parcial.



Esquema 5. Fuga Parcial de Cisterna con Etileno.

La Figura 18 presenta la probabilidad de ocurrencia de un evento para un escenario de fuga de Etileno, donde se observa que la situación más factible de suceder sería la dispersión del contaminante en aire con o sin ignición.

Evento Final		Frecuencia G2	b1	b2	c1	c2	Frecuencia (veces/año)
2	pool fire	1,38E-04	0,07	0,93	1		9,52E-06
5	UCVE				0,5		6,32E-05
14	Dispersión/ contaminación				0,5		6,32E-05

Figura 18. Probabilidad de Ocurrencia de Escenarios Etileno Rotura Parcial.

DAÑO PROVOCADO	Evento		Personas					
	Intermedio	Final	Letalidad	Sobrepresión	Radiación	Concentración	Distancia	
	EINT	EF	%	bar	kw/m <sup>2</sup>	ppm	m	
SOBREPRESIÓN	G1	4	1	0,16			155	
			50	0,94			54	
			99	5,28			25	
	G2	5	1	0,16			155	
			50	0,94			54	
			99	5,28			25	
RADIACIÓN	G1	1	1		7,25		7	
			50		14,3		4	
			99		28,4		2	
		10	1		7,25			
			50		14,3			
			99		28,4			
	G2	2	1		7,25		4	
			50		14,3		2	
			99		28,4		1	
DISPERSIÓN	<b>Dispersión</b>							
	G1	13	-	-	-	200*	21	
	G2	14	-	-	-	200*	32	

Figura 19. Efectos Escenarios Etileno.

\*VLA-ED: Fuente INSHT.

Los datos de la Figura 19 indican a que distancia se alcanzan los valores umbrales de letalidad, según el porcentaje de interés, en función de una sobrepresión, una radiación y una dispersión de gas fugado. Se puede resaltar que una sobrepresión podría generar la muerte de una persona situada a unos 155 m. de distancia del evento.

#### 4.7.6 - Resultados Escenario Etileno: Rotura Total

En la Figura 20 se representan las distintas posibilidades de ocurrencias o eventos para un escenario de fuga total de Etileno de un camión cisterna. El Esquema 6 muestra además los valores obtenidos en cada secuencia.

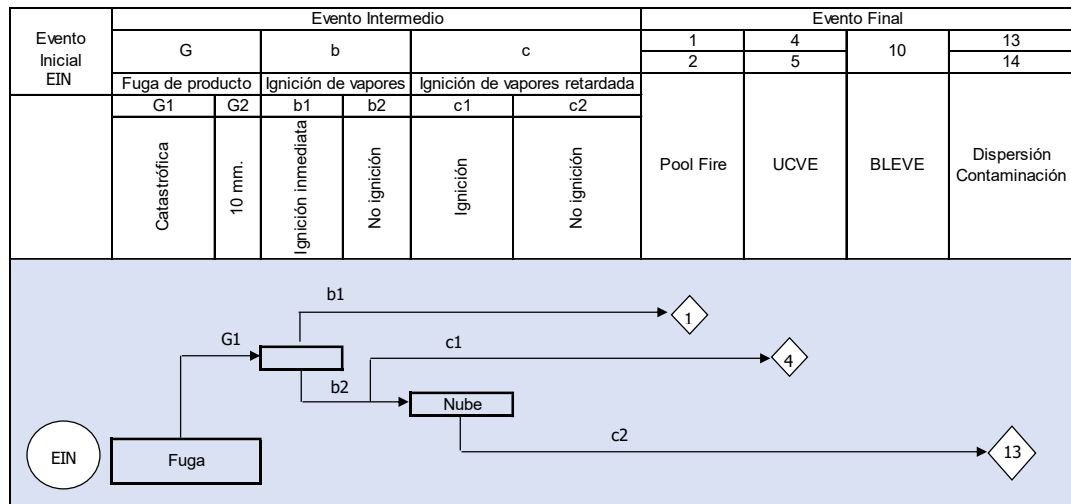
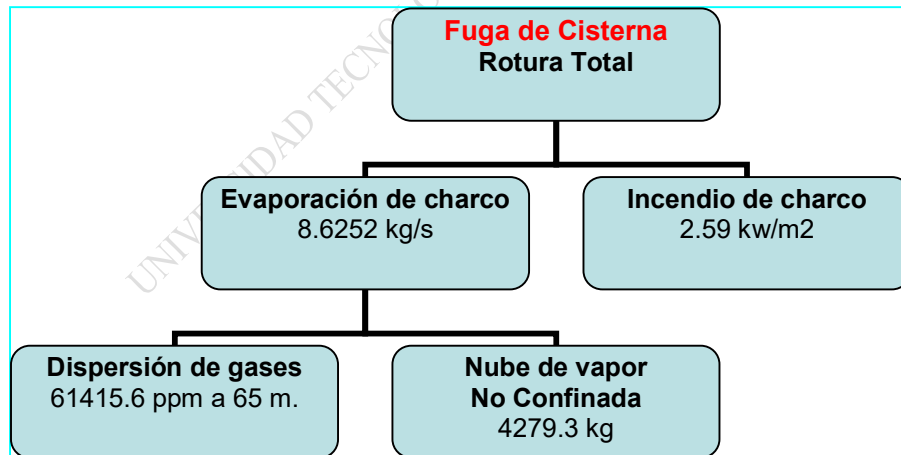


Figura 20. Escenario Etileno Rotura Total.



Esquema 6. Fuga Total de Cisterna con Etileno.

Evento Final		Frecuencia G1	b1	b2	c1	c2	Frecuencia (veces/año)
1	pool fire	1,75E-05	0,01	0,99			1,75E-07
4	UCVE				0,1	1,73E-06	
13	Dispersión/contaminación				0,9	1,56E-05	

Figura 21. Probabilidad de Ocurrencia de Escenarios Etileno Rotura Total.





Imagen 12. Rotonda 1: Curvas de Consecuencias para Sobrepresión (Etileno).  
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.



Imagen 13. Rotonda 2: Curvas de Consecuencias para Sobrepresión (Etileno).  
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.



Las Imágenes 12 y 13 muestran las consecuencias de una sobrepresión a partir de una ignición de Etileno para las dos rotondas en estudio, Rotonda 1 y Rotonda 2 respectivamente, verificándose el alcance de áreas pobladas e industriales para casos de 1% de letalidad.

Las Imágenes 14 y 15 indican que los valores umbrales de interés respecto a su peligrosidad para concentraciones de Etileno en aire se alcanzan a unos 21 m. aproximadamente del punto de fuga.



Imagen 14. Rotonda 1: Curva de Consecuencias para Dispersión (Etileno).

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.





Imagen 15. Rotonda 2: Curva de Consecuencias para Dispersión (Etileno).

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

#### 4.7.7 - Resultados Escenario Cloro Líquido: Rotura Parcial (10 mm)

En la Figura 22 se representan las distintas posibilidades de ocurrencias o eventos para un escenario de fuga parcial de Cloro de un camión cisterna. El Esquema 7 muestra además los valores obtenidos en cada secuencia.

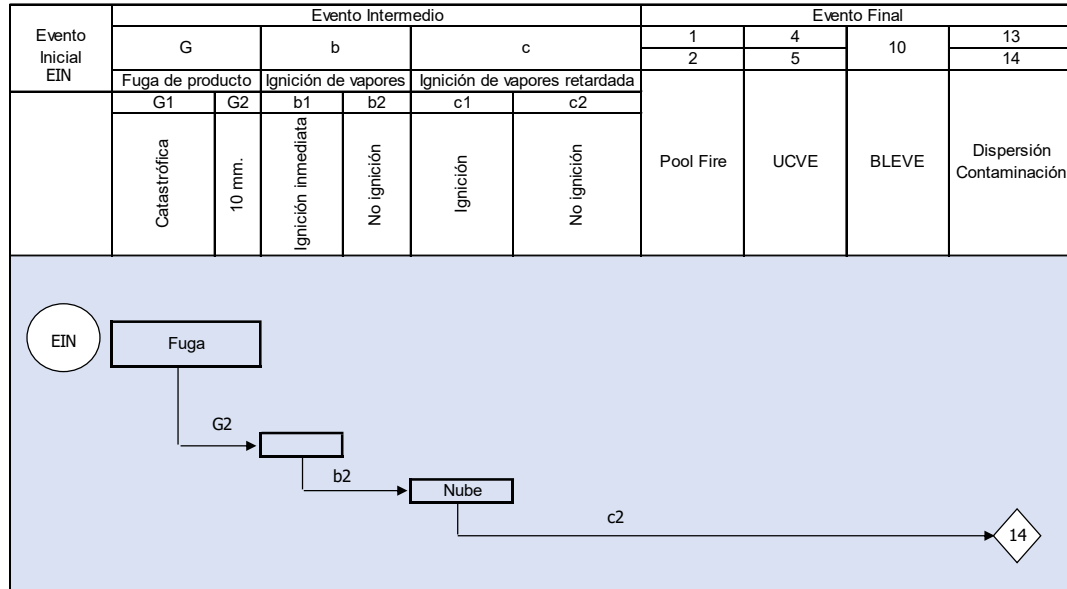
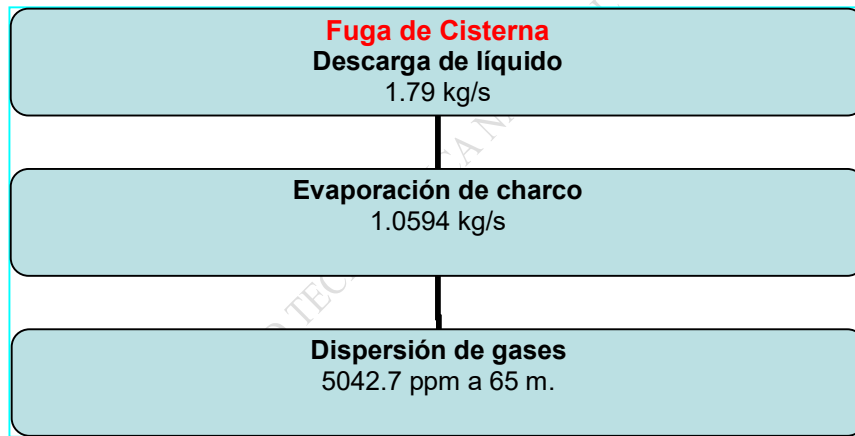


Figura 22. Escenario Cloro Rotura Parcial.



Esquema 7. Fuga Parcial de Cisterna con Cloro.

La Figura 23 presenta la probabilidad de ocurrencia de un evento para un escenario de fuga de Cloro, donde se observa que la situación más factible de suceder sería la dispersión del contaminante en aire en un escenario de Rotura catastrófica.

Escenario de Riesgo	EF	Evento Final	Frecuencia G1	Frecuencia G2	b2	c2	Frecuencia (veces/año)
Escenario de Riesgo Rotura Cisterna Cloro	13	Dispersión/contaminación	1,75E-05	0,000136	1		1,75E-05
	14	Dispersión/contaminación	1,75E-05	0,000136	1		1,36E-04

Figura 23. Probabilidad de Ocurrencia de Escenarios Cloro Rotura Total y Parcial.

DAÑO PROVOCADO	Evento		Personas				
	Intermedio	Final	Letalidad	Sobrepresión	Radiación	Concentración	Distancia
	EINT	EF	%	bar	kw/m <sup>2</sup>	ppm	m
SOBREPRESIÓN	G1	4	1	0,16			
			50	0,94			
			99	5,28			
	G2	5	1	0,16			
			50	0,94			
			99	5,28			
RADIACIÓN	G1	1	1		7,25		
			50		14,3		
			99		28,4		
		10	1		7,25		
			50		14,3		
			99		28,4		
	G2	2	1		7,25		
			50		14,3		
			99		28,4		
DISPERSIÓN	<b>Dispersión</b>						
	G1	13	-	-	-	20	21
	G2	14	-	-	-	20	24

Figura 24. Efectos Escenarios Cloro.

\*ERPG-3: Fuente AIHA.

En la Figura 24 se indica a que distancia se alcanzan los valores umbrales de riesgo, según el porcentaje de interés, en función de una dispersión de gas fugado. Se puede resaltar que una dispersión de nube de cloro podría afectar la salud de una persona situada a unos 21 m. de distancia del evento.

#### 4.7.8 - Resultados Escenario Cloro Líquido: Rotura Total

En la Figura 25 se representan las distintas posibilidades de ocurrencias o eventos para un escenario de fuga total de Cloro de un camión cisterna. El Esquema 8 muestra además los valores obtenidos en cada secuencia.

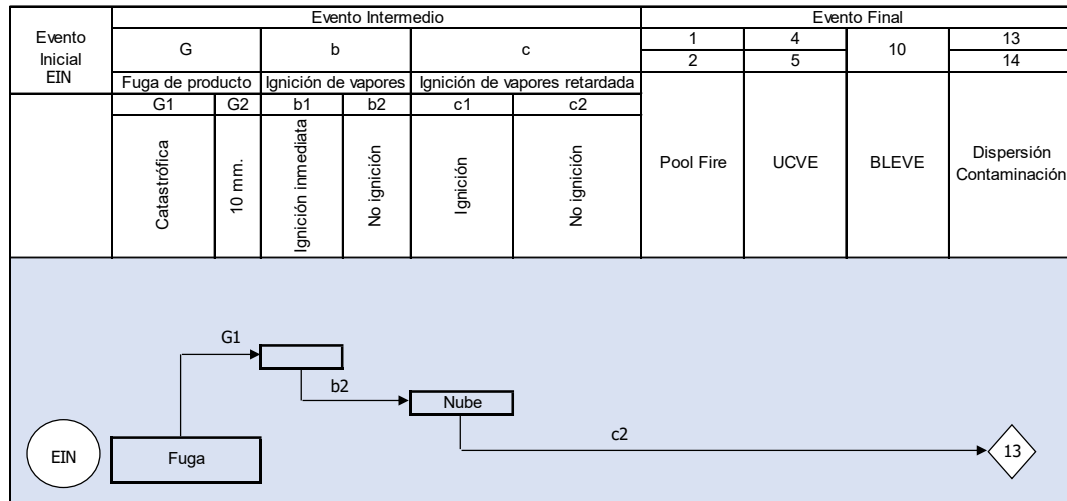
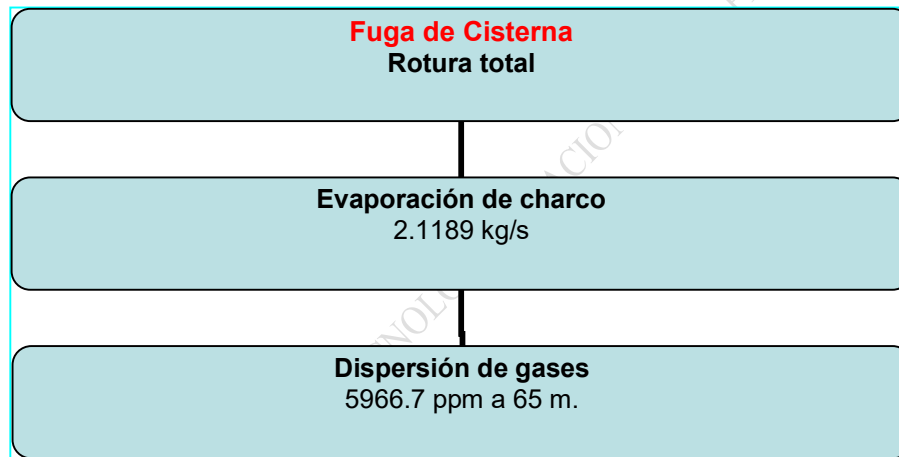


Figura 25. Escenario Cloro Rotura Total.



Esquema 8. Fuga Total de Cisterna con Cloro.

Las Imágenes 16 y 17 indican que los valores umbrales de interés respecto a su peligrosidad para concentraciones de Cloro en aire se alcanzan a unos 21 m. del punto de fuga, para las rotondas 1 y 2 respectivamente.

Para estas distancias, las concentraciones de cloro en aire que representan peligrosidad no alcanzan a las viviendas o establecimientos industriales, pero sí afectarían a los accidentados y eventuales conductores que se acerquen al área del siniestro. En color verde, se presenta el cono que representa la dirección del viento predominante para la zona (NO).





Imagen 16. Rotonda 1: Curva de Consecuencias para Dispersión (Cloro<sub>2</sub>).

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.



Imagen 17. Rotonda 2: Curva de Consecuencias para Dispersión (Cloro<sub>2</sub>).

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

#### 4.7.9 - Resultados Escenario Oxígeno Líquido: Rotura Parcial (10 mm)

En la Figura 26 se representan las distintas posibilidades de ocurrencias o eventos para un escenario de fuga parcial de Oxígeno líquido de un camión cisterna. El Esquema 9 muestra además los valores obtenidos en cada secuencia.

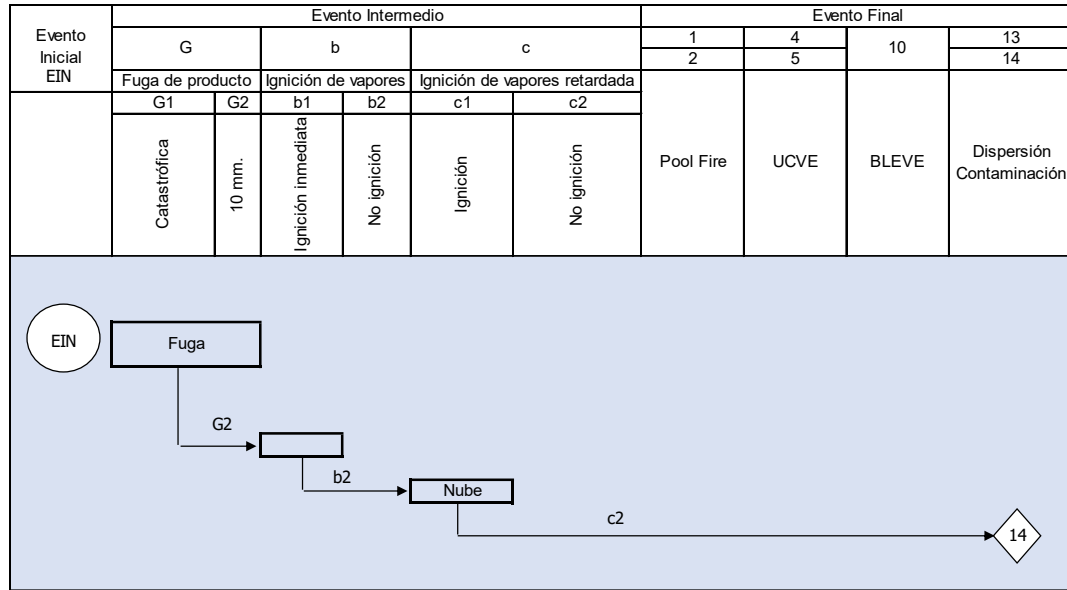
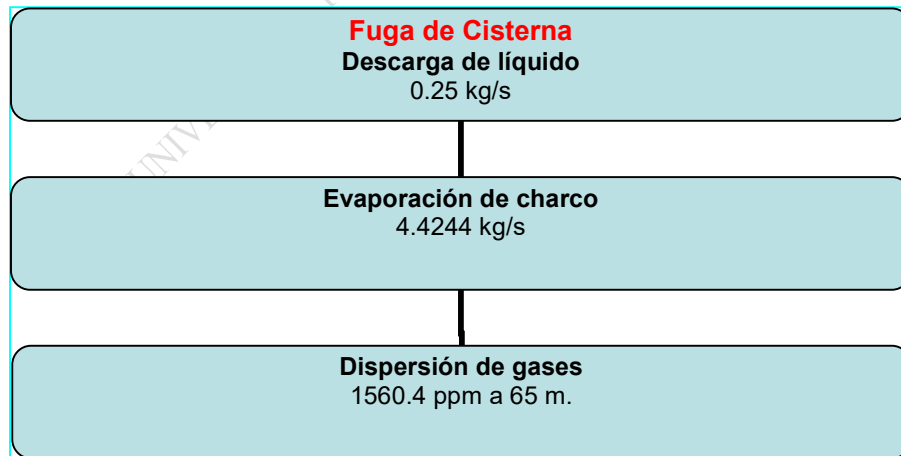


Figura 26. Escenario Oxígeno Rotura Parcial.



Esquema 9. Fuga Parcial de Cisterna con Oxígeno.

La Figura 27 indica a que distancia se alcanzan los valores umbrales de riesgo, según el porcentaje de interés, en función de una dispersión de gas fugado. Se puede resaltar que una dispersión de nube de oxígeno podría afectar la salud de una persona situada a unos 19 m. de distancia del evento.

DAÑO PROVOCADO	Evento		Personas				
	Intermedio	Final	Letalidad	Sobrepresión	Radiación	Concentración	Distancia
	EINT	EF	%	bar	kw/m <sup>2</sup>	%	m
SOBREPRESIÓN	G1	4	1	0,16			
			50	0,94			
			99	5,28			
	G2	5	1	0,16			
			50	0,94			
			99	5,28			
RADIACIÓN	G1	1	1		7,25		
			50		14,3		
			99		28,4		
		10	1		7,25		
			50		14,3		
			99		28,4		
	G2	2	1		7,25		
			50		14,3		
			99		28,4		
DISPERSIÓN	<b>Dispersión</b>						
	G1	13	-	-	-	23,5*	19
	G2	14	-	-	-	23,5*	23

Figura 27. Efectos Escenarios Oxígeno.

\*% en aire: Fuente OSHA.

Las Imágenes 18 y 19 indican que los valores umbrales de interés respecto a su peligrosidad (genera asfixia) para concentraciones de Oxígeno en aire se alcanzan a unos 19 m. aproximadamente del punto de fuga.





Imagen 18. Rotonda 1: Curva de Consecuencias para Dispersión (Oxígeno).

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.



Imagen 19. Rotonda 2: Curva de Consecuencias para Dispersión (Oxígeno).

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.



#### 4.7.10 - Resultados Escenario Oxígeno Líquido: Rotura Total

En la Figura 28 se representan las distintas posibilidades de ocurrencias o eventos para un escenario de fuga total de Oxígeno de un camión cisterna. El Esquema 10 muestra además los valores obtenidos en cada secuencia.

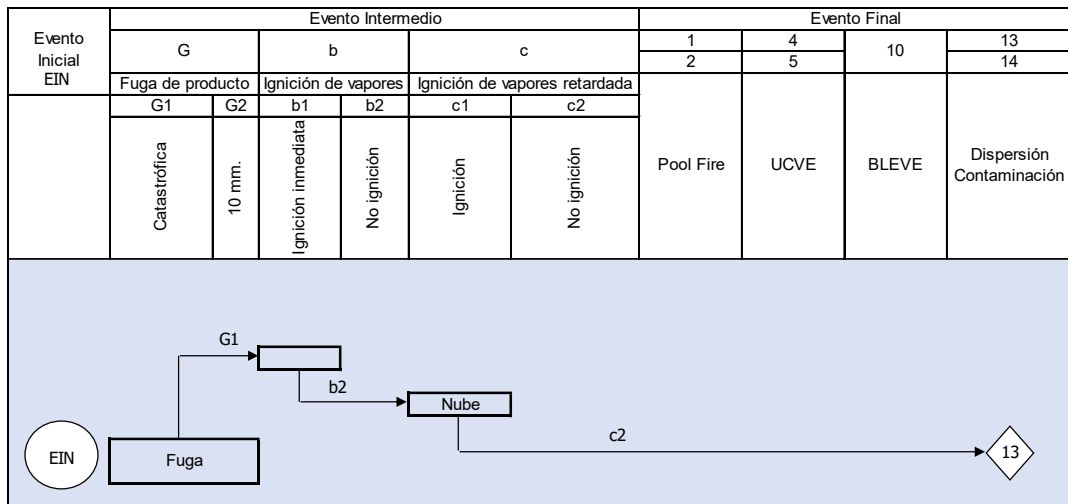
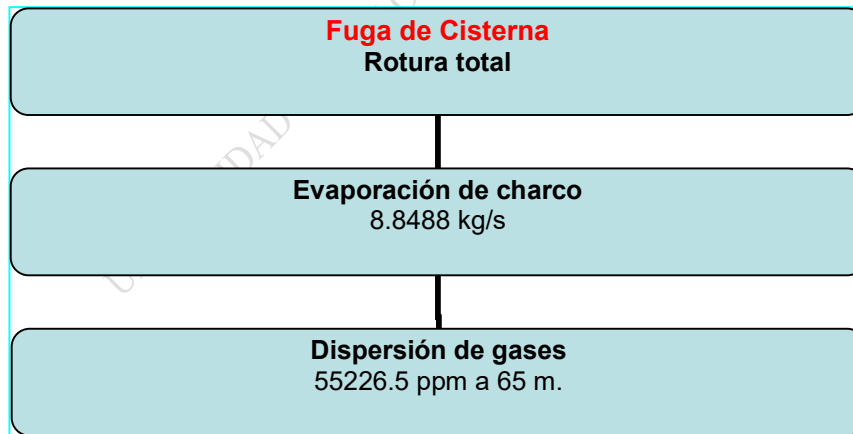


Figura 28. Escenario Oxígeno Rotura Total.



Esquema 10. Fuga Total de Cisterna con Oxígeno.

#### 4.8 - Medición del Riesgo

Se cuantificó el riesgo global a partir de la determinación del riesgo individual y teniendo en cuenta las distancias y frecuencias calculadas.

A partir de los eventos estudiados, se colocaron en una planilla Excel dos columnas, donde en la primera se ubicaron las distancias calculadas en las simulaciones y en la segunda las frecuencias anuales, en función de datos de frecuencia obtenidos para “Accesos No Controlados” (roturas parciales) y del Purple Book (Ministerie Van VROM, 2005) para roturas totales. Se realizó para los valores calculados al 1% y al 99% de letalidad en roturas parciales y totales. Luego se ordenan los valores por distancias obtenidas (de mayor a menor) junto con las frecuencias correspondientes. En el último paso se calcula el riesgo total para cada una de las distancias sumando todos los riesgos considerando que son aditivos (Anexo VI).

En las tablas 14 a 17 se resumen los resultados de riesgo por escenario.

##### Escenario 01. Accidente de Camión con GLP

<b>E01 - Accidente de Camión con GLP</b>	
<b>Distancia (m)</b>	<b>Riesgo Total</b>
189	1,73 E-09
180	6,49 E-07
76	8,22 E-07
29	6,56 E-05
9	6,56 E-05
5	6,57 E-05
2	6,58 E-05
1	7,54 E-05

Tabla 14. Riesgo Escenario 01 - Accidente de Camión con GLP

##### Escenario 02. Accidente de Camión con Gasolina

<b>E02 - Accidente de Camión con Gasolina</b>	
<b>Distancia (m)</b>	<b>Riesgo Total</b>
195	2,98 E-07
32	3,01 E-05
5	3,01 E-05
3	3,02 E-05
1	3,04 E-05

Tabla 15. Riesgo Escenario 02 - Accidente de Camión con Gasolina

Escenario 03. Accidente de Camión con Etileno

<b>E03 - Accidente de Camión con Etileno</b>	
<b>Distancia (m)</b>	<b>Riesgo Total</b>
155	6,49 E-07
25	6,56 E-05
7	6,56 E-05
4	6,57 E-05
2	6,58 E-05
1	7,54 E-05

Tabla 16. Riesgo Escenario 03 - Accidente de Camión con Etileno

Escenario 04. Accidente de Camión con Cloro Líquido

<b>E04 - Accidente de Camión con Cloro Líquido</b>	
<b>Distancia (m)</b>	<b>Riesgo Total</b>
21	1,75 E-05
24	1,36 E-04

Tabla 17. Riesgo Escenario 04 - Accidente de Camión con Cloro Líquido

Resumiendo las tablas anteriores, podemos concluir que los riesgos más importantes a tener en consideración, son los que se encuadran dentro de los valores críticos según criterios de riesgo individual, como es el caso de sobrepresión por Gasolina, GLP o Etileno para personas ubicadas a poca distancia de un evento donde la pérdida se origina a través de un orificio. Asimismo, alcances de una radiación por ignición de la nube de gas fugada muestra valores de riesgo a tener en cuenta. Por otro lado, la dispersión de una nube de Cloro presenta un riesgo mayor dado que se presenta en un orden de magnitud menor que los casos anteriores.

No se presenta la tabla correspondiente al escenario de Oxígeno líquido debido a que sus consecuencias por sobreoxigenación tienen mayor incidencia sobre el ambiente que hacia las personas en sí mismas. Cuando la concentración de oxígeno supera el 23.5 %, se considera que la atmósfera está sobre oxigenada y próxima a volverse inestable, la posibilidad y severidad de fuego o explosión se incrementa significativamente si la concentración en la atmósfera llega a valores del 28 %, los tejidos ignífugos, dejan de serlo. Por lo tanto, los elementos, como ropa, delantales, guantes, etc., que con una concentración normal de oxígeno (20,8 %), no son combustibles, si pueden serlo bajo estas condiciones. A partir de concentraciones en el aire superiores al 25%, la mayoría de los materiales pueden arder, incluso con carácter explosivo (Elsevier Science Publishers, 1976).

Capítulo 5

**MARCO REGULATORIO**

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL UTN-FRBB

## 5. MARCO REGULATORIO

### 5.1 - Legislación Nacional

- Ley Nacional N° 24.449. Ley de Tránsito. Sancionada el 23 de Diciembre de 1994. Promulgada Parcialmente el 6 de Febrero de 1995.

Incluye: Principios Básicos. Coordinación Federal. Consejo Federal de Seguridad Vial Registro Nacional de Antecedentes del Tránsito. Usuario de la Vía Pública. Capacitación. Licencia de Conductor. Vía Pública. Vehículo. Modelos Nuevos. Parque Usado. Circulación. Reglas Generales. Reglas de Velocidad. Reglas para Vehículos de Transporte. Reglas para Casos Especiales. Accidentes. Bases para el Procedimiento. Principios Procesales. Medidas Cautelares. Recursos Judiciales. Régimen de Sanciones. Principios Generales. Sanciones. Extinción de Acciones y Sanciones. Norma supletoria. Disposiciones Transitorias y Complementarias.

- Decreto Reglamentario N° 779/95. Aprueba la reglamentación de la Ley Nacional N° 24.449.
- Decreto N° 79/98. Tránsito y Seguridad Vial. Modificase las dimensiones máximas y los pesos mínimos transmitidos a la calzada, para las unidades afectadas al transporte de pasajeros y carga, el procedimiento para el otorgamiento de permisos en los casos de exceso de carga y las normas para la circulación de maquinaria agrícola establecidas en los decretos Nacionales 779/95 y 714/96, reglamentarios de la ley 24.449.
- Resolución N° 176/95. Secretaría de Transporte. Transporte de Cargas. Registro. Inscripción. Revisión técnica periódica.
- Resolución 195/97. Incorpora normas técnicas al Reglamento General para el Transporte de Mercancías Peligrosas por Carretera, aprobado por Decreto N° 779/95.

- Ley Nacional N° 26.363. Tránsito y Seguridad Vial. Sancionada el 9 de Abril de 2008. Promulgada el 29 de Abril de 2008.

Incluye: La creación de la Agencia Nacional de Seguridad Vial. Funciones: Modifica la Ley N° 24.449. Disposiciones Transitorias.

- Decreto N° 1716/08. Tránsito y Seguridad Vial. Aprueba la reglamentación de la Ley Nacional de Tránsito y Seguridad Nacional N° 26.363. Vigencia.
- Ley Nacional N° 24.653. Transporte Automotor de Cargas. Definición y Conceptos generales. Administración del Sistema. Régimen de Servicios. Disposiciones Transitorias. Sancionada el 5 de Junio de 1996. Promulgada de Hecho el 12 de Julio de 1996.
- Decreto Reglamentario N° 1035/02. Transporte Automotor de Cargas. Aprueba la reglamentación de la Ley N° 24.653. Principios Generales Políticas del Transporte de Cargas. Registro Único del Transporte Automotor. Régimen Sancionatorio. Disposiciones Generales.
- Resolución N° 258/08. Secretaría de Transporte. Publicada en el Boletín Oficial del 14 de Abril de 2008. Prórroga hasta el 30 de diciembre de 2008 la continuidad en la prestación de los servicios, de vehículos motrices pertenecientes a los modelos 1995, 1996 y 1997, que realicen el servicio de transporte de mercancías peligrosas. condiciones.
- Ley Nacional N° 25.456. Tránsito y Seguridad Vial. Modificación del artículo 47 de la ley 24.449. Sancionada el 8 de Agosto de 2001. Promulgada de Hecho el 6 de Setiembre de 2001.
- Resolución N° 905/06. Secretaría de Transporte. Aprueba las normas técnicas referidas a los tanques cisternas, contenedores cisternas e isocontenedores de más de tres metros cúbicos de capacidad para el transporte por la vía pública de mercancías y residuos peligrosos. Créase el registro nacional de operadores de inspección de cisternas.

- Resolución N° 75/02. Secretaría de Transporte. Transporte de mercancías peligrosas por carretera. Suprime de los listados de mercancías peligrosas la denominación aceite de petróleo, por haber determinado el comité de expertos de las naciones unidas que no reúne las características de riesgo previstas para dicha clasificación.
- Decreto N° 1232/07. Tránsito y Seguridad Vial. Ratifica el Convenio Federal sobre Acciones en Materia de Tránsito y Seguridad Vial, suscripto entre el Estado Nacional, las Provincias y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

## 5.2 - Normativa Provincial

- Ley N° 13927. Provincia de Buenos Aires. Ley Provincial de Tránsito y Seguridad Vial. Sancionada el 10 de Diciembre de 2008. Promulgada el 29 de Diciembre de 2012.

Incluye: Adhiere a las leyes nacionales N° 24449 -Ley Nacional de Tránsito- y Ley N° 26363 -Agencia Nacional de Seguridad-. Establece nuevo código de tránsito de la provincia de Buenos Aires. Dispone incorporación de la provincia al Consejo Federal de Seguridad Vial creado por Ley Nacional N° 24449. Convalida creación del RUIT, Registro Único de Infractores de Tránsito. Crea la cuenta RUIT, Licencia de Conducir para el depósito del producido por cobro de tasas por servicios. Crea Consejo Provincial de Seguridad Vial CO.PRO.SE.VI. Crea órganos y procedimiento de la justicia administrativa de infracciones de tránsito provincial, en la órbita del Ministerio de Jefatura de Gabinete y Gobierno. Dispone medidas cautelares administrativas. Modifica Ley N° 13757 -Ley de Ministerios-. Incorpora inciso 23 al artículo 16. Sobre competencia del Ministerio de Jefatura de Gabinete y Gobierno. Modifica decreto-ley 10072/1983 -Ley Orgánica del Registro de las Personas. Identificación, documentos, estado civil, capacidad, nacimiento, defunción-. Modifica artículo 1. Deroga Título V. Otorga competencia provisoria para infracciones de tránsito provincial previstas por esta norma a la Justicia de Faltas Municipal. Convalida actuaciones administrativa realizadas en cumplimiento del decreto N° 40/2007 -

Decreto de Necesidad y Urgencia. Emergencia de la circulación vial en las rutas, caminos, autopistas y semiautopistas provinciales o nacionales en el territorio de la provincia de Buenos Aires. Aprueba nuevo código de tránsito. Deroga la Ley N° 11430 y modificatorias. Crea la Justicia de Infracciones de Tránsito en el ámbito del Poder Ejecutivo. Modifica artículos 54 y 57 del decreto-ley 8751/1977, Código de Faltas Municipales.

- Decreto Reglamentario N° 532/09. Aprueba la reglamentación de la Ley Provincial N° 13927.

En el Anexo VII se presentan los principales artículos de la Ley Nacional N° 24449 y su decreto reglamentario que tienen injerencia en esta investigación.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL UTN-FRBB



Capítulo 6  
**AMENAZA Y VULNERABILIDAD**

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL UTN-FRBB

## **6. AMENAZA Y VULNERABILIDAD**

A partir de la descripción del área en estudio, la legislación vigente, los escenarios propuestos y la aplicación de los modelos matemáticos de simulación para estimación de consecuencias, se identificaron las amenazas y vulnerabilidades que incrementan el riesgo de accidentes en los accesos al Polo Petroquímico y Parque Industrial de Bahía Blanca.

### **6.1 - Amenazas**

De acuerdo a la clasificación de categorías básicas de amenaza enunciadas en el marco teórico según la teoría de Lavell, A. (1994), para esta investigación aplica la clasificación antrópico-contaminante, pues se relaciona con procesos de contaminación derivados de derrames, dispersiones o emisiones de sustancias químico-tóxicas hacia el aire, tierra y agua.

También podría haberse considerado como amenaza antrópico tecnológica, debido a que cumple algunas premisas enunciadas teóricamente, aunque estas se corresponden a riesgos por fuentes fijas (procesos de producción, distribución industrial por cañerías, sistemas eléctricos).

### **6.2 - Vulnerabilidades**

De acuerdo a las vulnerabilidades mencionadas por Wilches-Chaux, G. (1989), en Lavell, A. (1997), se identifican:

#### **6.2.1 - Vulnerabilidades Físicas**

- □ La ruta de acceso al sector industrial por donde transitan camiones con sustancias químicas, se encuentra a unas treinta cuadras del centro de la localidad de Bahía Blanca, y además atraviesa zonas pobladas y lugares de esparcimiento público. Cercanas a los accesos al Parque Industrial y Polo Petroquímico se localizan viviendas y áreas recreativas y turísticas de gran importancia, donde se concentra un número importante de pobladores y visitantes.

Dentro del radio de riesgo que surge para los escenarios del área de la Rotonda N° 1, se observa el avance de nuevos barrios y asentamientos precarios que podrían verse involucrados ante la ocurrencia de un evento catastrófico.

### **6.2.2 - Vulnerabilidades Económicas**

- □ Falta de recursos económicos nacionales, provinciales y locales necesarios para las inversiones que deben ser afrontadas y amortizadas para la reparación de rutas o construcción de autovías que mejoren el flujo vehicular y minimicen el riesgo de accidentes viales.
- Crecimiento desmedido de pastizales a la vera de la ruta y en rotondas que dificulta la visibilidad de los transportistas por ausencia de presupuestos adecuados (Anexo I. Imagen 4).

### **6.2.3 - Vulnerabilidades Sociales**

- Incertidumbre de la población con respecto al riesgo que representa el transporte de sustancias químicas en camiones, con ausencia de cohesión interna por parte de la comunidad para exigir la realización de un estudio de riesgo y las consecuencias, que permita establecer el alcance de una catástrofe a partir de un accidente vial que involucra estos vehículos.

### **6.2.4 - Vulnerabilidades Políticas**

- Falta de decisión política para afrontar el problema, que se evidencia en la voluntad de asignación de presupuestos para las obras requeridas. Se priorizan obras a corto plazo con efectos políticos inmediatos. Este tipo de emprendimientos, como construir nuevas vías de acceso al sector industrial o realizar amplias reparaciones en los canales actuales de circulación, no aparecen como prioritarias en las agendas políticas.

### **6.2.5 - Vulnerabilidades Técnicas**

- Deficiente sistema de control de transportes de sustancias químicas y otros, de monitoreo de rutas y caminos de acceso al sector industrial.

- Falta de mantenimiento de rutas, banquetas y rotondas (Anexo I. Imágenes 4 y 10).
- Insuficiente presencia de cartelera indicadora de riesgos, accesos y pictografía específica (Anexo I. Imagen 8).
- Ausencia de canales alternativos de tránsito y vías de escape. Rutas de ancho insuficiente, con baches y desniveles, sin adecuada demarcación de banquetas y sin sectores de sobrepaso. Pavimentos con banquetas deterioradas y sin señalizar, además de la ausencia de autopistas o carriles dobles.
- Carencia de estudios de riesgo mediante modelizaciones matemáticas que evalúen la magnitud de los impactos del transporte de sustancias químicas en el área de estudio.

#### **6.2.6 - Vulnerabilidades Ideológicas**

- Pasividad de la población respecto a la posibilidad de ocurrencia de accidentes mayores o emergencias tecnológicas a raíz del transporte de sustancias químicas en sectores aledaños a viviendas y centros recreativos.

#### **6.2.7 - Vulnerabilidades Culturales**

- Falta de toma de conciencia y responsabilidad en el manejo vehicular, tanto de transportistas como de particulares, que se manifiesta en el caso omiso que se presta a las señales de tránsito, el manejo de los transportistas durante varias horas ininterrumpidas y sin descansos, maximizado por la falta de controles pertinentes.

#### **6.2.8 - Vulnerabilidades Educativas**

- Insuficientes programas educativos provinciales o municipales que instruyan sobre educación vial, formas de circulación, transporte de mercancías peligrosas y manejo defensivo.

#### **6.2.9 - Vulnerabilidades Ecológicas**

- Posibilidad de contaminación del suelo por derrames accidentales en caso de accidentes con transporte de químicos.

- Presencia de basurales clandestinos donde eventualmente se incendia la basura, generalmente por causales humanos, generando humos negros que dificultan la visibilidad de los conductores (Anexo I. Imagen 1).

#### **6.2.10 - Vulnerabilidades Institucionales**

- Ausencia de decisiones políticas que impliquen estudios de riesgo y consecuencias frente al crecimiento de áreas industriales y de normativas locales que impidan el avance de poblaciones en las áreas de riesgo involucradas para las rotondas de estudio.
- Falta de compromiso a nivel institucional para dar cumplimiento a las legislaciones vigentes.
- Escasa presencia de programas institucionales a nivel provincial y municipal de educación vial y participación comunitaria respecto al riesgo presente.
- Falta de motivación del personal de las instituciones estatales que lleva a la desidia, impidiendo respuestas adecuadas, que en algunos casos no dependen de presupuestos abultados, como ejemplo, el crecimiento desmedido de pastizales a la vera de la ruta y en rotondas (Anexo I. Imagen 4).
- Falta de control vehicular con presencia de camiones sin las verificaciones técnicas correspondientes, lo que podría causar accidentes por diversas fallas durante la circulación en las rutas, observado en visitas de campo.

Capítulo 7  
EVALUACIÓN DE ENTREVISTAS  
REALIZADAS

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL UTN-FRBB

## 7. EVALUACIÓN DE ENTREVISTAS REALIZADAS

### Resultados de las Encuestas

Se realizaron un total de 7 (siete) encuestas a personas relacionadas con el transporte de sustancias químicas en el área industrial de Bahía Blanca, o con conocimiento de la problemática propuesta en esta investigación.

Las encuestas que se adjuntan en el Anexo III, reflejan resultados similares en cuanto a la intensidad del flujo vehicular en vías de acceso al sector industrial bahiense. La mayoría de los encuestados coincide en este parámetro y que además refleja un riesgo para la población aledaña a estas rutas, incluyendo centros recreativos e instituciones educativas.

También, se observa concordancia en cuanto a que la población no es consciente del riesgo que representa el transporte de sustancias químicas en camiones y a que las rutas utilizadas para ingresar al área industrial se encuentran deterioradas, sin demarcación y con escasa señalización.

Más del 50% de los encuestados afirma que Bahía Blanca está preparada para afrontar una emergencia tecnológica, y que existe una vía rápida de evacuación en caso de ocurrir un evento catastrófico en el Polo Petroquímico de esta ciudad.

El mismo porcentaje desconoce si el gobierno municipal está trabajando en la organización del tránsito en vías comunes de ingreso a sectores industriales y ejido urbano.

Durante las entrevistas, se pudo observar que algunos encuestados que aseguraban que había una ruta de evacuación rápida nombraban a la Avenida 18 de Julio como vía de escape. Otros encuestados nombraban la continuidad de la Avenida San Martín de Ingeniero White como ruta de escape.

Capítulo 8  
**CONCLUSIONES**

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL UTN-FRBB



## 8. CONCLUSIONES

Los resultados de la estimación de riesgos y consecuencias de la presencia de transportes de sustancias peligrosas en el área industrial de Bahía Blanca, muestran la necesidad de adoptar medidas complementarias para minimizar el riesgo dado el alcance observado.

Desde el punto de vista de consecuencias, los mayores efectos se presentan, naturalmente, en los escenarios catastróficos, donde los efectos de una sobrepresión, radiación o dispersión se dan en magnitudes mayores que en el caso de un escenario de rotura parcial del sistema contenedor de la sustancia transportada.

Para el caso en estudio, el efecto de radiación por una explosión con ebullición masiva tipo BLEVE de GLP, tendría un alcance máximo de 189 m. dentro de un rango de mortalidad de un 1%, cubriendo áreas de viviendas y zonas comerciales o industriales. Se destaca además la letalidad del 50% para distancias de 127 m. del lugar del accidente, cubriendo también algunas viviendas cercanas al lugar del accidente (Rotonda 2).

Por otro lado, las distancias alcanzadas por una sobrepresión con gasolina, GLP o etileno fueron de 195 m., 180 m. y 155 m. respectivamente. Las áreas cubiertas por este efecto son prácticamente las mismas que para el caso de radiación por BLEVE.

Distinto es el caso de la dispersión de nubes con sustancias químicas, donde solo para los escenarios con rotura total de la cisterna con escape de etileno y cloro se alcanzaron los niveles umbrales de riesgo para la salud. Independientemente de esto, el alcance de la pluma de dispersión del contaminante para cada uno de estos casos superó los 1000 m. de distancia horizontal con valores superiores a los umbrales de protección. Las mayores concentraciones de la sustancia en aire se presentaron a los 57 m. para el etileno, y 65 m. para el cloro.

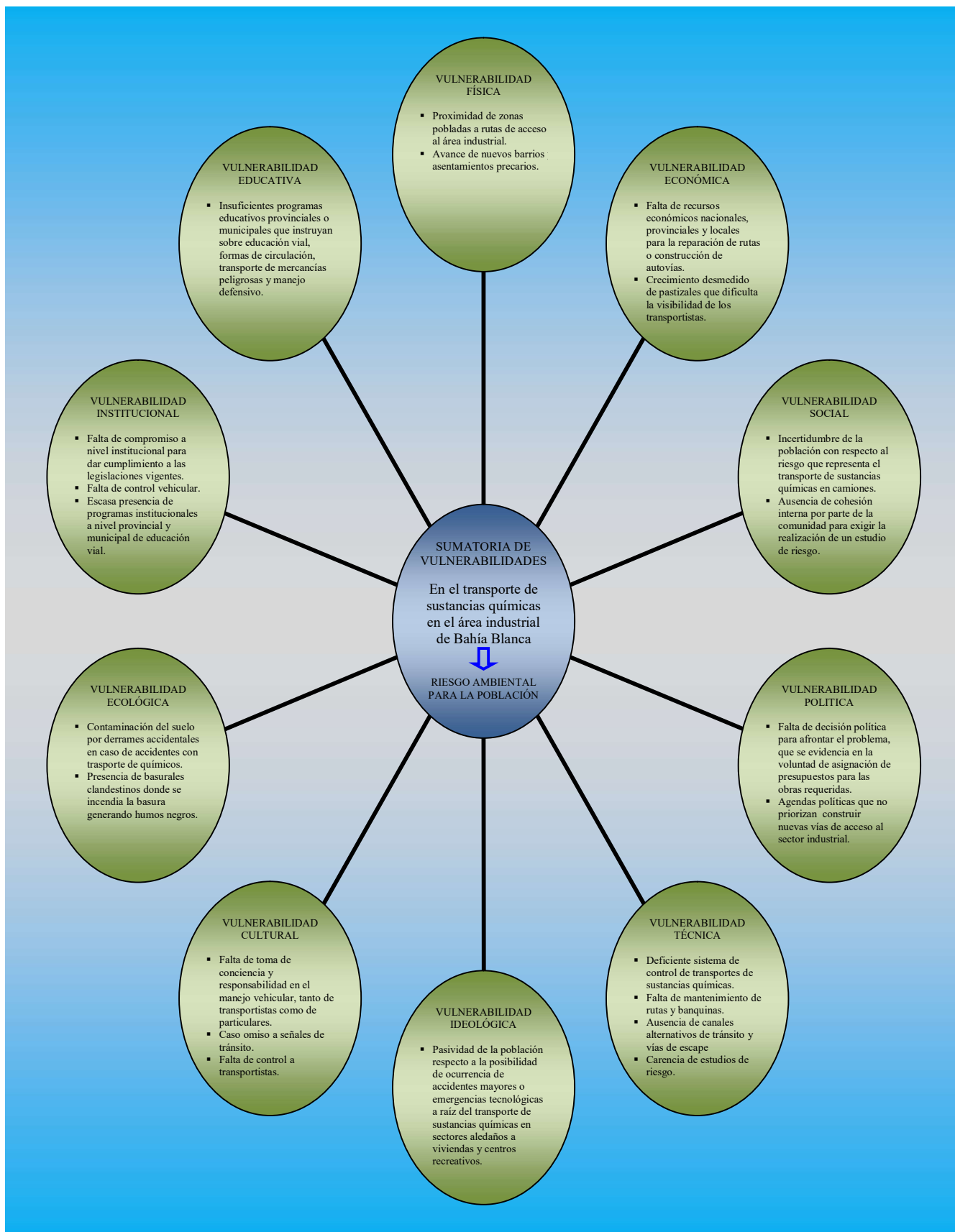
Con respecto a la probabilidad de ocurrencia de accidentes, los riesgos más importantes a tener en consideración, son los que se presentan dentro de los 4 o 5 órdenes de magnitud ( $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ), como es el caso de efectos de sobrepresión o radiación por fugas de Gasolina, GLP o Etileno y la dispersión de Cloro.

Finalmente, se concluye que la peligrosidad de un eventual accidente con sustancias químicas peligrosas en el área de estudio planteada, está dada fundamentalmente por el alcance de los efectos intrínsecos y no tanto por la probabilidad de que ocurra el siniestro. Existen zonas pobladas alcanzadas por radios de

consecuencias que incluyen fatalidades aunque la probabilidad de que ocurra es aceptable.

Para la mitigación de estos riesgos, se debería comenzar al menos minimizando las vulnerabilidades enunciadas, (físicas - económicas - sociales - técnicas - culturales - educativas - ideológicas - ecológicas - políticas e institucionales), destacando las institucionales como prioritarias, pues se evidencia ausencia de decisiones políticas y compromiso institucional para dar cumplimiento a las legislaciones vigentes en materia de tránsito vehicular en rutas y accesos a centros poblacionales e industriales.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL UTN-FRBB



Esquema 11. Sumatoria de Vulnerabilidades.

Capítulo 9  
**RECOMENDACIONES**

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL UTN-FRBB

## 9. RECOMENDACIONES

En función de las vulnerabilidades detectadas en esta investigación, surgen algunas recomendaciones para la mitigación de las mismas.

Considerando el crecimiento paulatino del área industrial de Bahía Blanca en cuanto a instalación de nuevas empresas y la necesidad de minimizar el riesgo existente en el transporte de sustancias químicas, se recomienda un nuevo trazado de vías de acceso al Polo Petroquímico bahiense que permita desviar camiones antes de atravesar zonas pobladas próximas a instalaciones industriales.

Actualmente todos los camiones que ingresan por la zona noroeste provenientes de las rutas N° 3 Sur, Ruta N° 33 y Ruta N° 35 llegan obligatoriamente a la rotonda de intersección de Avenida Colón y el Camino Acceso a Puertos, que es un área con población aledaña a la carretera.

Además de esta realidad, el área industrial no posee vías de evacuación rápidas en caso de ocurrir alguna eventualidad de magnitud; y si bien presenta caminos pavimentados, los caminos interplantas son poco consolidados y carecen en su totalidad de cartelería indicativa y orientativa en caso de necesidad de evacuar el área.

En la Imagen 20, se muestra una opción de vía de ingreso al área industrial propiamente dicha, que evitaría transitar por zonas pobladas y cercanas al ejido urbano. El objetivo sería que todos los camiones que transportan sustancias químicas peligrosas ingresen y egresen del sector industrial por la misma ruta, absorbiendo las unidades que provengan de las rutas N° 3 (norte y sur), 51, 33 y 35.

Esta vía existe actualmente como un camino real, aunque el último tramo debería construirse para hacer realidad esta alternativa.

Es pertinente además, la realización de simulacros acordes a los escenarios de riesgo específicos identificados en este trabajo de tesis y que muestren la mejor forma de manejar emergencias en el transporte de sustancias químicas peligrosas, aportando a la preparación de los organismos especializados en el manejo de estos materiales hacia una reacción rápida y oportuna. Actualmente, el Proceso APELL (Preparación y Concientización ante Emergencias a Nivel Local) trabaja en la realización de simulacros de estas características, aunque acotados en cuanto al alcance de los mismos.

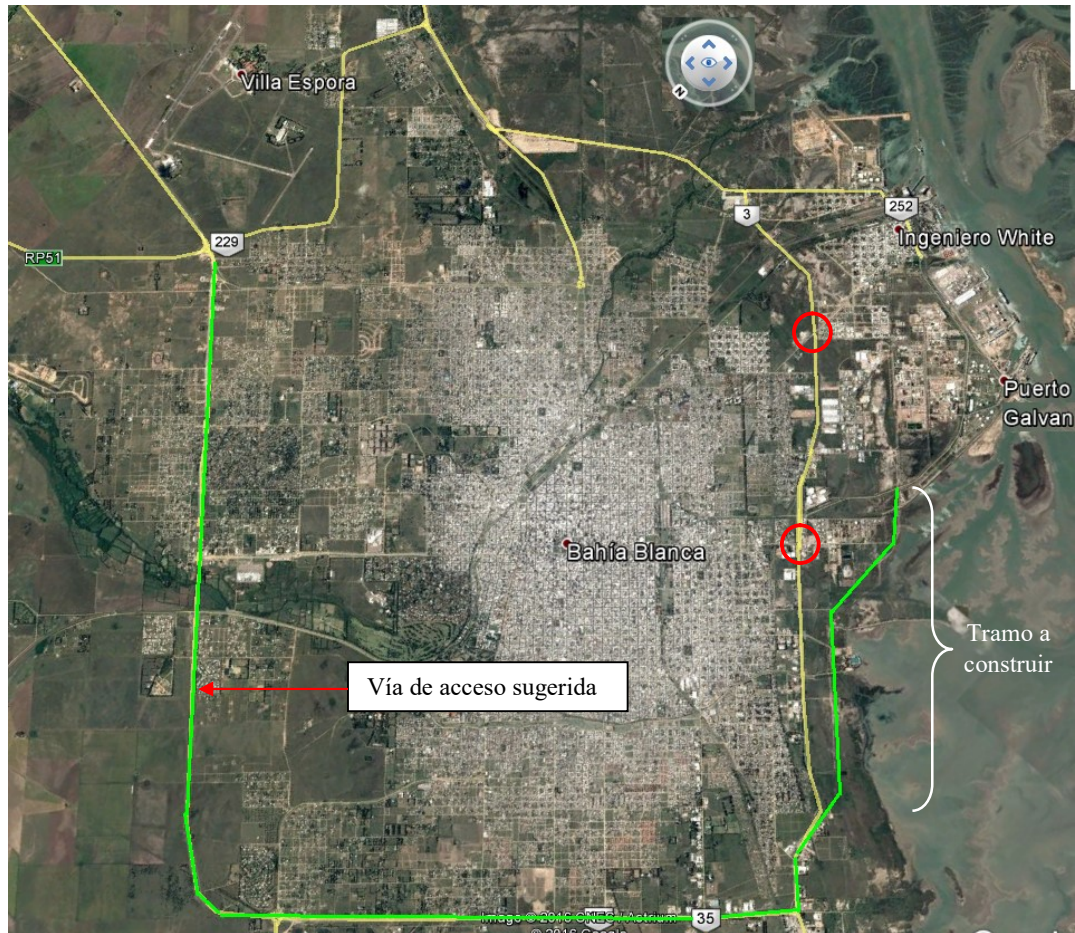


Imagen 20. Vía de ingreso sugerida. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

Es imprescindible la reparación inmediata del tramo del Camino Acceso a Puertos (Camino Parque Sesquicentenario) donde se tomó el universo de estudio. Esta zona es utilizada para la entrada y salida de vehículos pesados y los daños estructurales que presenta constituyen una fuente de peligro para el transporte de sustancias químicas. Una emergencia en esta zona - como se ha demostrado - podría causar graves consecuencias al medio ambiente, las personas y la propiedad, puesto que podría involucrar alguna o varias de las sustancias presentadas.

Se propone la instalación de un puesto de control caminero próximo al cruce de la Ruta N° 3 Sur y Camino Parque Sesquicentenario (Paraje El Cholo), con el fin de mitigar vulnerabilidades de tipo técnico y/o educativas, proporcionando así mayor seguridad en el transporte de sustancias químicas en este tramo. El propósito de este control sería asegurar la presencia de camiones aptos para la circulación como así también la integridad física del conductor.

Se deberían realizar con más frecuencia campañas de capacitación general a la población de Bahía Blanca e Ingeniero White, en especial a las comunidades que actualmente habitan en los alrededores de los accesos al área industrial de Bahía Blanca (no limitado al área de Ingeniero White), dando a conocer los riesgos que genera el transporte de sustancias químicas y el procedimiento general para el caso de presentarse una emergencia. Para esto, es útil realizar jornadas de capacitación y utilizar afiches donde se transmita de forma concreta la información pertinente.

Otro aspecto a tener en cuenta sería implementar mecanismos de control para el avance de asentamientos precarios y/o construcciones en predios próximos a estas vías de acceso a sectores industriales, que impidan el desarrollo de barrios nuevos en áreas de riesgo.

Finalmente, es necesaria la creación y aplicación de Ordenanzas municipales que regulen o reglamenten el tránsito de camiones con sustancias químicas en el Partido de Bahía Blanca, con el objeto de controlar el ingreso de camiones como así también las condiciones de transporte de las mismas y de vehículos en general. Asimismo, es necesario verificar las condiciones del chofer en cuanto a aptitud para realizar el trabajo.

A partir de esta esta investigación, como reflexión final, se considera que este trabajo es un puntapié inicial para la difícil tarea de gestionar la minimización de los riesgos por presencia de sustancias químicas en tránsito en el área industrial de Bahía Blanca.

Se debería implementar una política de prevención de riesgos, contemplando la evaluación mediante programas descritos en este estudio, la planificación de medidas y actividades de control que permitan minimizar los riesgos, la actuación frente a cambios o sucesos previsibles y programas de estadísticas de tránsito y accidentes.

Capítulo 10  
**BIBLIOGRAFÍA**

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL UTN-FRBB



## 10. BIBLIOGRAFÍA

- ✦ AICHE. Guidelines for Chemical Transportation Risk Analysis. Estados Unidos. 1995.
- ✦ ARPCA. Seminario Técnicas Análisis de Riesgos a ser Aplicadas en las Diversas Fases del Ciclo de Vida de un Emprendimiento. El Morro. Venezuela. 2006.
- ✦ Bubbico, R., Ferrari C., Mazzarotta B.. Risk Analysis LPG Transport by Road and Rail. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 13, 27-31. 2000.
- ✦ Cardona Arboleda, O. Prevención de desastres y participación ciudadana en Colombia. En Viviendo en Riesgo. Comunidades vulnerables y prevención de desastres en América Latina, compilado por Lavell, A. Ed. FLACSO. LA REDCEPRDENAR. pp. 285. Colombia. 1997.
- ✦ CCPS/AICHE. Guidelines for chemical process quantitative risk analysis. New York. Estados Unidos. 1989.
- ✦ CETESB. Manual de orientação para a elaboração de estudos de análise de riscos. São Paulo. Brasil. 1994.
- ✦ Crowl, D., Louvar, J. Introducción a la Seguridad en los Procesos Químicos. 3ª Edición. Estadísticas de Accidente y Víctimas Fatales. Cap. 1.3. Estados Unidos. 2011.
- ✦ Dirección General de Protección Civil. Guía Técnica: Comunicación de Riesgos Industriales. Madrid. España. 2004.
- ✦ Dirección General de Protección Civil. Guía Técnica: Metodología para el Análisis de Riesgos - Análisis Cualitativo. Madrid. España. 2004.
- ✦ Dirección General de Protección Civil. Guía Técnica: Metodología para el Análisis de Riesgos - Análisis Cuantitativo. Madrid. España. 2004.
- ✦ Dirección General de Protección Civil. Guía técnica. Metodologías para el Análisis de Riesgos. Visión general. Madrid. España. 2004.
- ✦ Dirección General de Protección Civil. Metodologías de Análisis de Riesgos. Volúmenes I y II. CIEMAT. Madrid. España. 1990.
- ✦ Elsevier Science Publishers B.V. L'Air Liquide. Encyclopedie des gaz. Amsterdam. 1976.

- ✦ Erkut E., Verter V. A Framework for hazardous materials transport risk assessment. *Risk Analysis*, 15(5): 589-601. New York. EEUU. 1995.
- ✦ Estudio de Riesgos para el Transporte de Sustancias Peligrosas por Carretera y Ferrocarril. Lloyd's Register. Estados Unidos. 2001.
- ✦ Godoy, S. Riesgo Asociado a la Dispersión de Contaminantes en la Atmósfera Considerando Incertidumbre Estocástica. Universidad Tecnológica Nacional. Argentina. 2010.
- ✦ Lavell, A. (compilador) Viviendo en Riesgo. Comunidades vulnerables y prevención de desastres en América Latina. Capítulo 2: Degradación ambiental, riesgo y desastre Urbano. Ed. FLACSO. LA RED CEPREDENAR. Argentina. 1994.
- ✦ Lavell, A. Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definición de una agenda de investigación, en Fernández, M (comp.). Ciudades en riesgo: degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres en América Latina, Lima: La Red, pp. 21 a 59. 1996.
- ✦ Luhmann, N. El concepto de Riesgo, extraído de *Soziologie des Risikos* Berlin, Gruyter. Alemania. 1991.
- ✦ Ministerie van VROM. Guidelines for quantitative risk assessment. Cap. 3.2. Holanda. 2005.
- ✦ Molina, Pedro. Análisis de riesgos del transporte de hidrocarburos por carreteras, áreas Santa Cruz I, Santa Cruz II y Faro Vírgenes; Provincia de Santa Cruz. II Congreso de Hidrocarburos. Buenos Aires Sheraton Hotel. Del 29 de junio al 2 de julio de 2003.
- ✦ Nardini, L., Aparicio, L., Bandoni A., Tonelli, S. Regional Risk Associated with the Transport of Hazardous Materials, *Latin American Applied Research*, 33,213-218. 2003.
- ✦ Nicolet-Monnier, M., Gheorghe A. Quantitative Risk Assessment of Hazardous Materials Transport Systems. Academic Publisher. Zurich. Alemania. 1996.
- ✦ OSHA. Occupational Safety and Health Administration. Estados Unidos. 1970.
- ✦ Pasquill, F. The Estimation of the Dispersion of Windborne Material, *Meteorol. Mag.*, 90, pp. 33-49. New York. Estados Unidos. 1974.

- ◆ Rodríguez, J.A. Aplicación de Criterios de Tolerancia de Riesgos y Costo - Beneficio en los Estudios de Análisis de Riesgos de la Industria Petrolera y Petroquímica Venezolana, ARPEL, México, 1991.
- ◆ Santamaría, J. M., Braña, P. A. Análisis y Reducción de Riesgos en la Industria Química. Ed. Mapfre, 1994.
- ◆ Starr, C. "Social Benefit vs. Technical Risk", Science, American Association for the Advancement of Science, Vol. 165, Sept. 1969.
- ◆ Storch de Gracia, J.M. Manual de Seguridad Industrial en Plantas Químicas y Petroleras. Editorial Mc Graw Hill. España. 1998.
- ◆ URB-AL. Impacto del Crecimiento del Sector Industrial Químico y Petroquímico en la Gestión Urbana de Ciudades Portuarias. Proyecto Común R7 p1 02. Argentina. 2005.

#### Páginas de Internet Consultadas

- Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010 - Total País y Provincias - Resultados Definitivos - Variables Seleccionadas. En: [http://www.censo2010.indec.gov.ar/resultados\\_definitivos.asp](http://www.censo2010.indec.gov.ar/resultados_definitivos.asp)
- Centro de Soporte para la Regulación de Modelos Atmosféricos. Incluye los Modelos DEGADIS y SLAB. 2015. En: [http://www3.epa.gov/ttn/scram/dispersion\\_alt.htm#DEGADIS](http://www3.epa.gov/ttn/scram/dispersion_alt.htm#DEGADIS)
- Departamento de Trabajo de Estados Unidos. Lesiones Ocupacionales Fatales y No Fatales en la Industria del Petróleo y Gas. 2010. En: <http://www.bls.gov/iif/oshwc/osh/os/osar0013.htm>
- Educar. Mapas Políticos de la Argentina. Presidencia de la Nación. Ministerio de Educación. 2015. En: <https://www.educ.ar/sitios/educar/recursos/ver?id=87118>
- Infoleg. Ley Nacional N° 24449/95. Ley de Tránsito. En: <http://infoleg.mecon.gov.ar/infolegInternet/rma.htm>
- Municipalidad de Bahía Blanca. Mapa de Accesos a Bahía Blanca, Provincia Buenos Aires, Argentina. En: [http://www.zonu.com/argentina\\_mapas/Mapa\\_Accesos\\_Bahia\\_Blanca\\_Prov\\_Buenos\\_Aires\\_Argentina.htm](http://www.zonu.com/argentina_mapas/Mapa_Accesos_Bahia_Blanca_Prov_Buenos_Aires_Argentina.htm)

- Rianet Diario Digital. Portal de Bahía Blanca y la Zona. Partido de Bahía Blanca. 2015. En:  
<http://www.rianet.com.ar/index.php/ciudad/bahia-blanca/partido/773-partido-de-bahia-blanca>
- Wilches-Chaux, G. La Vulnerabilidad Global. 2008. En:  
<http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/html/cap2.htm>.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL UTN-FRBB

## ANEXOS

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL UTN-FRBB

## ANEXO I

### Relevamiento Fotográfico del Área de Estudio y Registro de Coordenadas

#### Coordenadas Geográficas:

Imagen AI.1: 38° 44.252` Lat.Sur / 62° 17.966` Long. Oeste

Imagen AI.2: 38° 43.911` Lat.Sur / 62° 18.396` Long. Oeste

Imagen AI.3: 38° 44.089` Lat.Sur / 62° 18.178` Long. Oeste

Imagen AI.4: 38° 44.452` Lat.Sur / 62° 17.726` Long. Oeste

Imagen AI.5: 38° 45.232` Lat.Sur / 62° 17.023` Long. Oeste

Imagen AI.6: 38° 45.286` Lat.Sur / 62° 16.979` Long. Oeste

Imagen AI.7: 38° 45.488` Lat.Sur / 62° 16.725` Long. Oeste

Imagen AI.8: 38° 45.905` Lat.Sur / 62° 16.180` Long. Oeste

Imagen AI.9: 38° 44.721` Lat.Sur / 62° 17.330` Long. Oeste

Imagen AI.10: 38° 44.472` Lat.Sur / 62° 17.660` Long. Oeste



Imagen AI.1: Quema de basural a la vera de la ruta (Vulnerabilidad Ecológica).

38° 44.252` Lat.Sur / 62° 17.966` Long. Oeste



Imagen AI.2: Ausencia de rotonda en el cruce con calle Charlone y acceso a Balneario Maldonado (Vulnerabilidad Económica).

38° 43.911' Lat.Sur / 62° 18.396' Long. Oeste



Imagen AI.3: Presencia de animales sueltos (caballos) en sobre la banquina (Vulnerabilidad Educativa).

38° 44.089' Lat.Sur / 62° 18.178' Long. Oeste





Imagen AI.4: Pastizales altos antes de la rotonda y presencia de un carro con caballo en el ingreso (Vulnerabilidad Técnica).

38° 44.452' Lat.Sur / 62° 17.726' Long. Oeste



Imagen AI.5: Ausencia de dársena de giro a la izquierda en el acceso a estación de servicio (Vulnerabilidad Económica).

38° 45.232' Lat.Sur / 62° 17.023' Long. Oeste



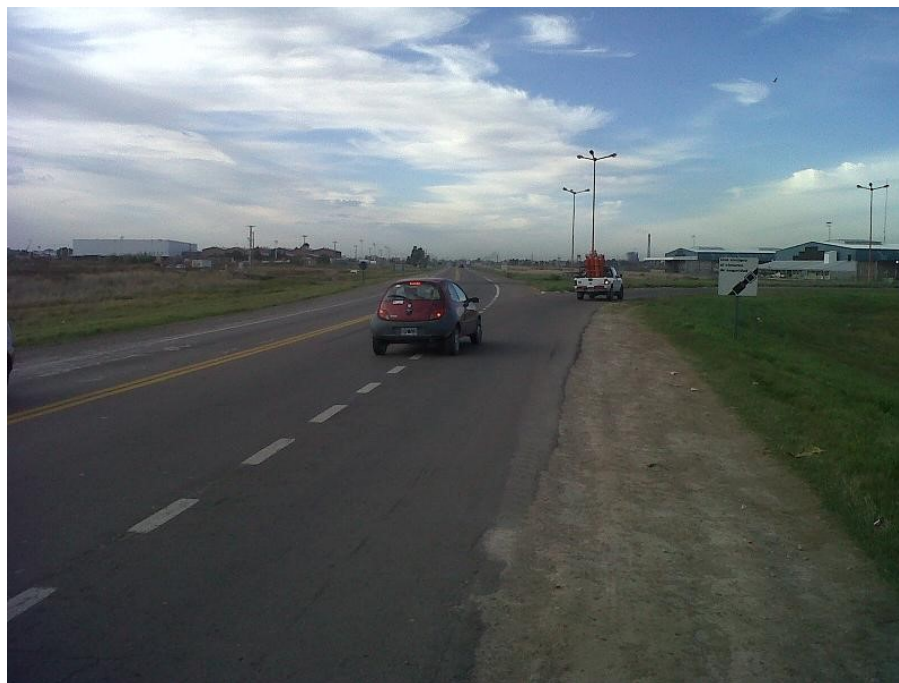


Imagen AI.6: Ausencia rotonda en el acceso al Parque Industrial de Bahía Blanca (Vulnerabilidad Económica).

38° 45.286' Lat.Sur / 62° 16.979' Long. Oeste



Imagen AI.7: Ausencia de dársena de giro a la izquierda en el acceso a Cooperativa Obrera (Vulnerabilidad Económica).

38° 45.488' Lat.Sur / 62° 16.725' Long. Oeste



Imagen AI.8: Rotonda pequeña, con escasa señalización y ausencia de guard raid  
(Vulnerabilidad Técnica).

38° 45.905' Lat.Sur / 62° 16.180' Long. Oeste



Imagen AI.9: Vendedores ambulantes sobre banquetas (Vulnerabilidad Cultural).

38° 44.721' Lat.Sur / 62° 17.330' Long. Oeste



Imagen AI.1: Estado de banquina en condiciones peligrosas (Vulnerabilidad Técnica).

38° 44.472' Lat.Sur / 62° 17.660' Long. Oeste

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

## ANEXO II

### Frecuencia de Tránsito de Camiones de Sustancias Químicas por Escenario de Estudio

#### Nomenclatura de las sustancias transportadas

23-1075	Gas Licuado de Petróleo
80-1830	Ácido Sulfúrico
30-1999	Alquitranes, líquidos, asfaltos
33-1203	Gasolina, combustible para motor
30-1202	Combustible diesel
33-1294	Tolueno
336-1230	Metanol, Alcohol Metílico
223-1038	Etileno
268-1005	Amoníaco anhidro

**Tabla N° II.1. Frecuencia de Tránsito de Camiones de Sustancias Químicas en Rotonda 1 (38° 44.452' Lat.Sur / 62° 17.726' Long. Oeste)**

Identificación	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4
23-1075	14	6	1	9
80-1830	-	-	1	-
30-1999	-	1	1	2
33-1203	5	10	-	18
30-1202	1	4	-	5
33-1294	-	4	-	5
336-1230	2	-	-	2
223-1038	-	-	-	-
268-1005	1	-	-	2
Total	23	25	3	43

\*Periodo de estudio: 2 hs (10:00 a 12:00 hs)

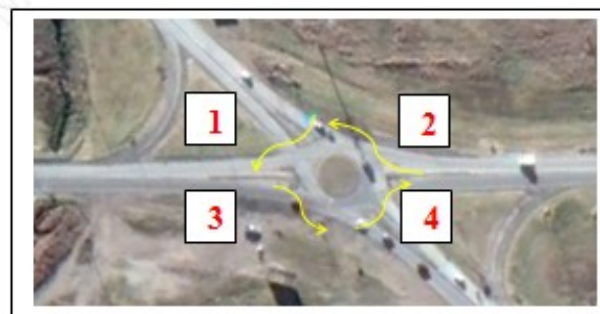




**Tabla N° II.2. Frecuencia de Tránsito de Camiones de Sustancias Químicas en Rotonda 2 (38° 45.905' Lat.Sur / 62° 16.180' Long. Oeste)**

Identificación	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4
23-1075	12	7	3	6
80-1830	1	-	-	-
30-1999	-	1	-	1
33-1203	1	-	-	5
30-1202	1	-	-	1
33-1294	-	-	-	-
336-1230	1	4	5	-
223-1038	-	-	-	1
268-1005	-	-	-	-
Total	16	12	8	14

\*Periodo de estudio: 2 hs (14:00 a 16:00 hs)



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

## ANEXO III

## Niveles de Daño Contemplados para Individuos y Equipamiento

Peligro	Trabajadores/Terceros	Equipamiento
<b>Radiación Pool Fire</b>	<b>Duración</b>	30 seg
	<b>Probit</b>	$Pr = -12.8 + 2.56 \ln(t.I^{4/3})$
	<b>1% afectación</b>	7.25 kW/m <sup>2</sup> (1% fatalidad)
	<b>50% afectación</b>	14.3 kW/m <sup>2</sup> (50% fatalidad)
	<b>99% afectación</b>	28.4 kW/m <sup>2</sup> (99% fatalidad)
<b>Flash Fire</b>	<b>Duración</b>	Instantánea
	<b>Probit</b>	N/A
	<b>Nivel de afectación</b>	LFL (100% fatalidad)
<b>BLEVE</b>	<b>Duración</b>	Duración de bola de fuego
	<b>Probit</b>	$Pr = -12.8 + 2.56 \ln(t.I^{4/3})$
	<b>Nivel de afectación</b>	Dentro 25% de daño– Fuera 0%
<b>Sobrepresión</b>	<b>Duración</b>	Instantánea
	<b>Probit</b>	$Pr = 1.47 + 1.37 \ln(P)^{(3)}$
	<b>1% afectación</b>	0.16 bar (1% fatalidad)
	<b>50% afectación</b>	0.94 bar (50% fatalidad)
	<b>99% afectación</b>	5.28 bar (99% fatalidad)

Fuente: Rodríguez, J.A. (1991).

## ANEXO IV

### Cuestionarios de Entrevistas.

Análisis de Riesgo Ambiental por Transporte de Sustancias Químicas (Área Industrial de Bahía Blanca)

#### ENCUESTA

**Nombre y Apellido del encuestado:** César Pérez

**Cargo e Institución:** Coordinador del Comité Técnico Ejecutivo (MBB).

**Fecha de la encuesta:** 19/05/2015

- 1) ¿Es intenso el flujo de camiones de transporte de sustancias químicas en vías de acceso al sector industrial de Bahía Blanca?

SI  NO NO SABE/NO CONTESTA Comentario:

*Porque es un movimiento periódico discontinuo. Eso sin contar los camiones que transportan combustibles, ya que estos también ingresan al ejido urbano.*

- 2) ¿Las condiciones de las vías de acceso a dicho sector están correctamente señalizadas?

SI  NO NO SABE/NO CONTESTA Comentario:

*Falta señalización de tránsito.*

- 3) ¿Estas vías, se encuentran en perfectas condiciones, sin baches y con banquetas adecuadas y demarcadas?

SI  NO NO SABE/NO CONTESTA Comentario:

*Sobre todo la Avenida 18 de Julio, que no presenta demarcación y es angosta.*

- 4) ¿Debería existir un acceso independiente para el ingreso de camiones de sustancias químicas al sector industrial?

SI  NO NO SABE/NO CONTESTA Comentario:

*Ya existen ingresos específicos.*

- 5) ¿Existe riesgo para la población aledaña respecto a un eventual accidente con un transporte de sustancias químicas?



Análisis de Riesgo Ambiental por Transporte de Sustancias Químicas (Área Industrial de Bahía Blanca)

SI NO NO SABE/NO CONTESTA Comentario:

*Porque un accidente puede generar un incendio, una explosión o una nube tóxica.*

- 6) En caso de un accidente donde está involucrado un transporte de sustancias químicas, ¿las consecuencias del mismo podrían afectar a instituciones educativas, centros recreativos y viviendas cercanas al lugar del hecho?

SI NO NO SABE/NO CONTESTA Comentario:

*Solo en el caso de un jardín de infantes.*

- 7) ¿Bahía Blanca está preparada para afrontar una emergencia de estas magnitudes?

SI NO NO SABE/NO CONTESTA Comentario:

*Existe el Proceso Apell, aunque está limitado al área de Ingeniero White y barrios aledaños.*

- 8) ¿El gobierno municipal está trabajando en la organización del tránsito vehicular en las distintas vías de ingreso que comparten el sector industrial y la ciudad?

SI NO  NO SABE/NO CONTESTA Comentario:

*Debería verificarse con el Departamento de Vialidad de la ciudad de Bahía Blanca.*

- 9) ¿Existe una vía rápida de evacuación en caso de una emergencia en el Polo Petroquímico de Bahía Blanca?

SI NO NO SABE/NO CONTESTA Comentario:

*Aunque no en las condiciones ideales que debería presentar.*

- 10) ¿La población es conciente del riesgo que representa el transporte de sustancias químicas en camiones?

SI  NO NO SABE/NO CONTESTA Comentario:



Análisis de Riesgo Ambiental por Transporte de Sustancias Químicas (Área Industrial de Bahía Blanca)

**ENCUESTA**

**Nombre y Apellido del encuestado:** Néstor Magno

**Cargo e Institución:** Jefe Cuerpo de Bomberos de Ing. White

**Fecha de la encuesta:** 30/06/2015

- 1) ¿Es intensivo el flujo de camiones de transporte de sustancias químicas en vías de acceso al sector industrial de Bahía Blanca?

SI  NO  NO SABE/NO CONTESTA  Comentario:

*Se destaca el importante caudal de camiones que llegan vacíos al polo petroquímico y salen cargados de diferentes sustancias.*

- 2) ¿Las condiciones de las vías de acceso a dicho sector están correctamente señalizadas?

SI  NO  NO SABE/NO CONTESTA  Comentario:

*Falta señalización de tránsito, lo cual hace que muchos camioneros no se ubiquen correctamente dentro del área industrial de Bahía Blanca.*

- 3) ¿Estas vías, se encuentran en perfectas condiciones, sin baches y con banquetas adecuadas y demarcadas?

SI  NO  NO SABE/NO CONTESTA  Comentario:

*Se observa la cinta asfáltica deteriorada y sin demarcación.*

- 4) ¿Debería existir un acceso independiente para el ingreso de camiones de sustancias químicas al sector industrial?

SI  NO  NO SABE/NO CONTESTA  Comentario:

*Ya existen ingresos específicos. Además, el diseño de las rutas y accesos no permitiría nuevas rutas por una cuestión de disponibilidad geográfica.*

Análisis de Riesgo Ambiental por Transporte de Sustancias Químicas (Área Industrial de Bahía Blanca)

- 5) ¿Existe riesgo para la población aledaña respecto a un eventual accidente con un transporte de sustancias químicas?

SI  NO  NO SABE/NO CONTESTA Comentario:

*Siempre existe riesgo para la población.*

- 6) En caso de un accidente donde está involucrado un transporte de sustancias químicas, ¿las consecuencias del mismo podrían afectar a instituciones educativas, centros recreativos y viviendas cercanas al lugar del hecho?

SI  NO  NO SABE/NO CONTESTA Comentario:

*Solo en el caso de un jardín de infantes que se encuentra a 200 metros de una ruta y dependiendo de condiciones climáticas desfavorables, los establecimientos no están ubicados cerca de vías de acceso.*

- 7) ¿Bahía Blanca está preparada para afrontar una emergencia de estas magnitudes?

SI  NO  NO SABE/NO CONTESTA Comentario:

*Existen planes confeccionados para afrontarlos, lo cual no significa que sean del todo eficientes.*

- 8) ¿El gobierno municipal está trabajando en la organización del tránsito vehicular en las distintas vías de ingreso que comparten el sector industrial y la ciudad?

SI  NO  NO SABE/NO CONTESTA Comentario:

*Considero que está trabajando en el tema pero no lo suficiente.*

- 9) ¿Existe una vía rápida de evacuación en caso de una emergencia en el Polo Petroquímico de Bahía Blanca?

SI  NO  NO SABE/NO CONTESTA Comentario:

*Aunque no en las condiciones ideales que debería presentar. No se encuentra señalizado, la gente no conoce las vías más rápidas de evacuación.*

Análisis de Riesgo Ambiental por Transporte de Sustancias Químicas (Área Industrial de Bahía Blanca)

10) ¿La población es conciente del riesgo que representa el transporte de sustancias químicas en camiones?

SI  NO NO SABE/NO CONTESTA Comentario:

*El común de la gente, en general, no conoce el riesgo real que representan los transportes de sustancias químicas.*

ASOC. VOL. BOMBEROS LA WHITE  
REST. E. MAGNO  
COMANDANTE GENERAL  
JEFE DE CUERPO

**ENCUESTA**

**Nombre y Apellido del encuestado:** Eduardo Conghos

**Cargo e Institución:** Abogado en Fiscalía de Estado de la Provincia de Bs. As.

**Fecha de la encuesta:** 26/08/2015

- 1) Es intensivo el flujo de camiones de transporte de sustancias químicas en vías de acceso al sector industrial de Bahía Blanca?

**SI** NO NO SABE/NO CONTESTA

Exactamente no se su número pero son muchos camiones!

- 2) Las condiciones de las vías de acceso a dicho sector están correctamente señalizadas?

**SI** NO NO SABE/NO CONTESTA

Pero podrían ser mejoradas

Estas vías, se encuentran en perfectas condiciones, sin baches y con banquetas adecuadas y demarcadas?

SI **NO** NO SABE/NO CONTESTA

- 3) Debería existir un acceso independiente para el ingreso de camiones de sustancias químicas al sector industrial?

SI **NO** NO SABE/NO CONTESTA

Creo que si se mejora toda la infraestructura (rutas, cartelería, etc) y se mantiene la misma no sería necesario hacer un acceso independiente.

- 4) Existe riesgo para la población aledaña respecto a un eventual accidente con un transporte de sustancias químicas?

**SI** NO NO SABE/NO CONTESTA

Por la cercanía entre la ruta y las viviendas en muchos lugares.

- 5) En caso de un accidente donde está involucrado un transporte de sustancias químicas, las consecuencias del mismo podrían afectar a instituciones educativas, centros recreativos y viviendas cercanas al lugar del hecho?

**SI** NO NO SABE/NO CONTESTA

Las escuelas y clubes en Ingeniero White

- 6) Bahía Blanca está preparada para afrontar una emergencia de estas magnitudes?

SI NO NO SABE/NO CONTESTA

Existe un Plan de Emergencias para la zona de las Industrias Químicas (Proceso APELL) que coordinan los trabajos de bomberos, hospitales, guardia urbana, defensa civil realizándose anualmente simulacros que incluye accidentes de camiones con sustancias químicas.

El gobierno municipal está trabajando en la organización del tránsito vehicular en las distintas vías de ingreso que comparten el sector industrial y la ciudad?

SI NO NO SABE/NO CONTESTA

- 7) Existe una vía rápida de evacuación en caso de una emergencia en el Polo Petroquímico de Bahía Blanca?

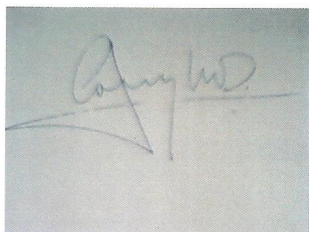
SI NO NO SABE/NO CONTESTA

En algún momento existía un diagrama de circulación en caso de incidentes en el Polo Petroquímico. Dicho diagrama era flexible atento a que por las condiciones climáticas podrían variarse las rutas de ingreso y egreso de la zona caliente. En la actualidad no sabría decir.

- 8) La población es consciente del riesgo que representa el transporte de sustancias químicas en camiones?

SI NO NO SABE/NO CONTESTA

Pese a que a través del proceso APELL se intenta concientizar siempre es difícil hacer entender el riesgo a las personas.

A rectangular box containing a handwritten signature in blue ink. The signature is cursive and appears to be 'C. Rojas'.

**ENCUESTA**

**Nombre y Apellido del encuestado: Pedro Cristóbal Doiny Cabré**  
**Cargo e Institución: Docente Derecho Ambiental. UNS**  
**Fecha de la encuesta: 09.10.2015**

- 1) Es intensivo el flujo de camiones de transporte de sustancias químicas en vías de acceso al sector industrial de Bahía Blanca?

NO SE. CREO QIE SI.

SI NO NO SABE/NO CONTESTA

Comentario: ej. sabe cuantos camiones/día o camiones/hora?

- 2) Las condiciones de las vías de acceso a dicho sector están correctamente señalizadas?

NO SE. SUPONGO QUE SI

SI NO NO SABE/NO CONTESTA

Comentario: Por qué?

- 3) Estas vías, se encuentran en perfectas condiciones, sin baches y con banquetas adecuadas y demarcadas?

NO. FALTARIAN CAMINOS DE AL MENOS CUATRO VIAS

SI NO NO SABE/NO CONTESTA

Comentario: Si es no, sabría decir dónde no hay baches o donde no están demarcadas las banquetas?

- 4) Debería existir un acceso independiente para el ingreso de camiones de sustancias químicas al sector industrial?

SI, POR RAZONES DE SEGURIDAD

SI NO NO SABE/NO CONTESTA

Comentario: por qué no? Si es sí por donde?

- 5) Existe riesgo para la población aledaña respecto a un eventual accidente con un transporte de sustancias químicas?

SI. RIESGO SIEMPRE EXISTE. LO IMPORTANTE SON LAS MEDIDAS PREVENTIVAS

SI NO NO SABE/NO CONTESTA

Comentario: Qué lo lleva a pensar que sí? O que no? Que vulnerabilidades considera que hay para pensar que hay riesgo?



.....

6) En caso de un accidente donde está involucrado un transporte de sustancias químicas, las consecuencias del mismo podrían afectar a instituciones educativas, centros recreativos y viviendas cercanas al lugar del hecho?  
NO SE. SUPONGO QUE SI DEPENDIENTO DE LA ENTIDAD DEL ACCIDENTE  
SI NO NO SABE/NO CONTESTA Comentario: Cual es la institución que se le viene en mente en primer lugar?

.....

7) Bahía Blanca está preparada para afrontar una emergencia de estas magnitudes?  
SI NO NO SABE/NO CONTESTA Comentario: Justificar el Si o el no  
SI. CREO QUE RELATIVAMENTE BIEN, DEPENDE TAMBIÉN DE LA ENTIDAD DEL ACCIDENTE.....

.....

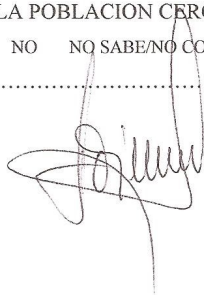
8) El gobierno municipal está trabajando en la organización del tránsito vehicular en las distintas vías de ingreso que comparten el sector industrial y la ciudad?  
SI NO NO SABE/NO CONTESTA Comentario: Si es SI, en cuáles?  
NO SE

9) Existe una vía rápida de evacuación en caso de una emergencia en el Polo Petroquímico de Bahía Blanca?  
NO SE. DEBERIA EXISTIR  
SI NO NO SABE/NO CONTESTA Comentario: Si es SI, cuál?

.....

10) La población es conciente del riesgo que representa el transporte de sustancias químicas en camiones?  
SI, LA POBLACION CERCANA. NO LA DEL RESTO DE LA CIUDAD  
SI NO NO SABE/NO CONTESTA Comentario: Por qué considera que sí? o no?

.....



ENCUESTA

**Nombre y Apellido del encuestado: Condonancio, Luis María**

**Cargo e Institución: Transportista**

**Fecha de la encuesta: 08/10/2015**

- 1) Es intensivo el flujo de camiones de transporte de sustancias químicas en vías de acceso al sector industrial de Bahía Blanca?

SI NO NO SABE/NO CONTESTA

*Si, porque es el único que hay, entran todos por la misma ruta.*

*Es muy difícil estimar pero es mucho.*

- 2) Las condiciones de las vías de acceso a dicho sector están correctamente señalizadas?

SI NO NO SABE/NO CONTESTA

*Si son bastantes las señales*

- 3) Estas vías, se encuentran en perfectas condiciones, sin baches y con banquetas adecuadas y demarcadas?

SI NO NO SABE/NO CONTESTA

*No, en muy malas condiciones. La única parte buena es la autovía, que es doble mano. Pero los vehículos de sustancias peligrosas no deberían transitar por ahí.*

- 4) Debería existir un acceso independiente para el ingreso de camiones de sustancias químicas al sector industrial?

SI NO NO SABE/NO CONTESTA

*No, pero sería importante mejorar las condiciones del actual.*

- 5) Existe riesgo para la población aledaña respecto a un eventual accidente con un transporte de sustancias químicas?

SI NO NO SABE/NO CONTESTA

*Si, vulnerabilidad primera es la falla humana, después el tránsito tan cargado y las condiciones de la ruta*

- 6) En caso de un accidente donde está involucrado un transporte de sustancias químicas, las consecuencias del mismo podrían afectar a instituciones educativas, centros recreativos y viviendas cercanas al lugar del hecho?

**SI** NO NO SABE/NO CONTESTA

*Las que están cerca de la ruta si, las demás no. Recuerdo el Predio de la Corporación y una escuela cerca.*

7) Bahía Blanca está preparada para afrontar una emergencia de estas magnitudes?

SI **NO** NO SABE/NO CONTESTA

*No creo, los bomberos la mayoría son voluntarios.*

8) El gobierno municipal está trabajando en la organización del tránsito vehicular en las distintas vías de ingreso que comparten el sector industrial y la ciudad?

SI **NO** NO SABE/NO CONTESTA

*No, sólo he visto policías.*

9) Existe una vía rápida de evacuación en caso de una emergencia en el Polo Petroquímico de Bahía Blanca?

**SI** NO NO SABE/NO CONTESTA

*Una sola hay, que es la misma que la entrada de los camiones*

10) La población es conciente del riesgo que representa el transporte de sustancias químicas en camiones?

SI **NO** NO SABE/NO CONTESTA

*No en absoluto, falta de información y de interés desde la comunidad*



**ENCUESTA**

**Nombre y Apellido del encuestado:** Ignacio Alberto Zavaleta  
**Cargo e Institución:** Representante de Unión de Usuarios Viales  
**Fecha de la encuesta:** 19/09/2015

- 1) Es intenso el flujo de camiones de transporte de sustancias químicas en vías de acceso al sector industrial de Bahía Blanca?

SI NO NO SABE/NO CONTESTA

*Es intenso, debido a las características y categoría de las industrias y concentración de ellas*

- 2) Las condiciones de las vías de acceso a dicho sector están correctamente señalizadas?

SI  NO NO SABE/NO CONTESTA

*Deben tener una un determinado diseño, tal que no pasen desapercibidas, lo que hace aumentar la precaución*

- 3) Estas vías, se encuentran en perfectas condiciones, sin baches y con banquetas adecuadas y demarcadas?

SI  NO NO SABE/NO CONTESTA

*Son vías convencionales, no especialmente diseñadas para la circulación de sustancias de riesgo*

- 4) Debería existir un acceso independiente para el ingreso de camiones de sustancias químicas al sector industrial?

SI NO NO SABE/NO CONTESTA

*La respuesta es similar a la anterior y con el mismo criterio*

- Existe riesgo para la población aledaña respecto a un eventual accidente con un transporte de sustancias químicas?

SI NO NO SABE/NO CONTESTA

*Experiencias de incidentes anteriores.*

- 5) En caso de un accidente donde está involucrado un transporte de sustancias químicas, las consecuencias del mismo podrían afectar a instituciones educativas, centros recreativos y viviendas cercanas al lugar del hecho?

SI NO NO SABE/NO CONTESTA

No se respeta un itinerario ni protocolo, las rutas por donde circulan los transportes son las habituales para todo el transporte

Bahía Blanca está preparada para afrontar una emergencia de estas magnitudes?

SI  NO SABE/NO CONTESTA

Es probable que en inmediaciones de la zona industrial existan los medios y preparación para un eventual acontecimiento de emergencia, pero no se conocen, por lo menos públicamente, que se de adiestramiento a los cuerpos de Bomberos o Defensa Civil  
El gobierno municipal está trabajando en la organización del tránsito vehicular en las distintas vías de ingreso que comparten el sector industrial y la ciudad?

SI NO  NO SABE/NO CONTESTA

No poseo información al respecto

6) Existe una vía rápida de evacuación en caso de una emergencia en el Polo Petroquímico de Bahía Blanca?

SI NO  NO SABE/NO CONTESTA

Depende del tipo y magnitud de emergencia que se presente, y que radio afectaría...

7) La población es conciente del riesgo que representa el transporte de sustancias químicas en camiones?

SI  NO SABE/NO CONTESTA

En realidad es escaso el nivel de conocimiento y en este tipo de planteos depende de las experiencias vividas, lo que hace a una toma de consciencia más real



ENCUESTA

**Nombre y Apellido del encuestado:** FERNANDO MONDIN

**Cargo e Institución:** LOGISTICA. AIR LIQUID

**Fecha de la encuesta:** 09/10/2015

- 1) Es intenso el flujo de camiones de transporte de sustancias químicas en vías de acceso al sector industrial de Bahía Blanca?  
**SI**
- 2) Las condiciones de las vías de acceso a dicho sector están correctamente señalizadas?  
**SI**, señalizadas con carteles.
- 3) Estas vías, se encuentran en perfectas condiciones, sin baches y con banquetas adecuadas y demarcadas?  
**NO SABE/NO CONTESTA**
- 4) Debería existir un acceso independiente para el ingreso de camiones de sustancias químicas al sector industrial?  
**NO SABE/NO CONTESTA**
- 5) Existe riesgo para la población aledaña respecto a un eventual accidente con un transporte de sustancias químicas?  
**SI**, por el mal estado de las rutas, la imprudencia al volante, la falta de capacitación de quienes son encargados de transportarlas.
- 6) En caso de un accidente donde está involucrado un transporte de sustancias químicas, las consecuencias del mismo podrían afectar a instituciones educativas, centros recreativos y viviendas cercanas al lugar del hecho?  
**NO SABE/NO CONTESTA**
- 7) Bahía Blanca está preparada para afrontar una emergencia de estas magnitudes?  
**NO SABE/NO CONTESTA**
- 8) El gobierno municipal está trabajando en la organización del tránsito vehicular en las distintas vías de ingreso que comparten el sector industrial y la ciudad?  
**NO**

- 9) Existe una vía rápida de evacuación en caso de una emergencia en el Polo Petroquímico de Bahía Blanca?

**NO SABE/NO CONTESTA**

- 10) La población es consciente del riesgo que representa el transporte de sustancias químicas en camiones?

**NO**, la gente no es consciente ni busca interiorizarse.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'M. D. D. N.', with a long horizontal stroke extending to the right.



## ANEXO V

## Resultados de Cálculos Matemáticos.

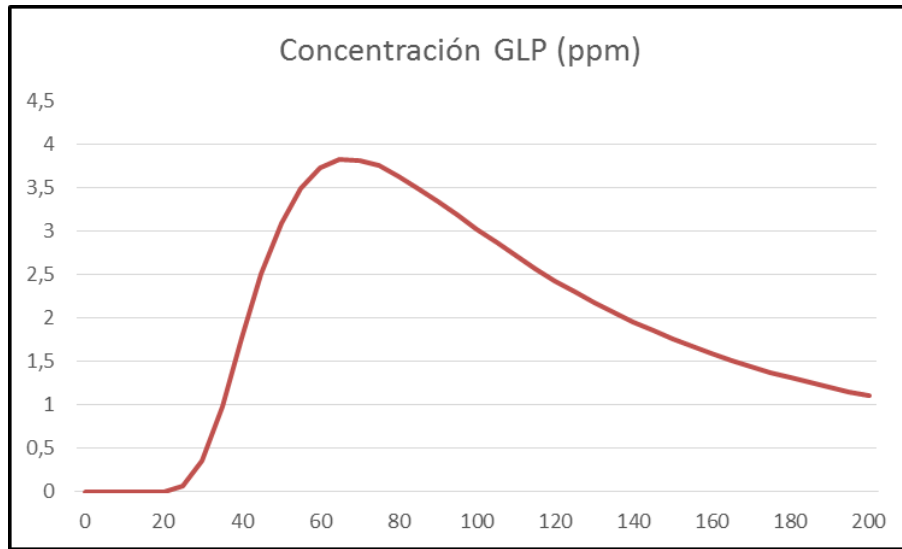
GLP Rotura Parcial

FLUJO BIFÁSICO A TRAVÉS DE UN CAÑO		
Datos de entrada:		
Temperatura ambiente:	298 K	
Presión de saturación:	20 bar gauge	
Presión de almacenamiento:	20 bar gauge	
Presión aguas abajo:	1 bar gauge	
Longitud de caño crítica:	5 cm	
Longitud de caño:	5 cm	
Coefficiente de descarga:	0,85	
Calor de vaporización:	333000 J/kg	
Cambio de volumen de vaporización:	0,048 m <sup>3</sup> /kg	
Capacidad calorífica:	2230 J/kg K	
Densidad de líquido:	490 kg/m <sup>3</sup>	
Resultados:		
Caída de presión disponible:	19 bar	
Parámetro de no equilibrio:	1,0538	
Flujo másico por unidad de área subenfriado:	0 kg/m <sup>2</sup> s	
Flujo másico por unidad de área (líquidos saturados):	8510,3 kg/m <sup>2</sup> s	
Descarga de todo el líquido a través del agujero:	36678 kg/m <sup>2</sup> s	
Flujo másico combinado:	8290,0 kg/m <sup>2</sup> s	

<b>EVAPORACION DE CHARCO</b>				
Datos de entrada:				
Peso molecular LPG :	<b>M</b>	49,7	kg/molkg	
Area del charco	<b>A</b>	10	m**2	
Presión de vapor de saturación :	<b>psat</b>	6	mm Hg	
Constante universal de los gases:	<b>R</b>	0,082057	atm m3/molkg K	
Temperatura ambiente	<b>T</b>	298	K	
Coefficiente de transferencia del agua	$k_g^0$	0,0083	m/s	
Peso molecular del agua:	<b>Mo</b>	18	kg/molkg	
<b>ECUACIONES</b>				
$m_{mass}^* = \frac{M k_g A P^{sat}}{R T_L}$			<b>T= TL</b>	
$k_g = k_g^0 \left( \frac{M_0}{M} \right)^{1/3}$				
<b>RESULTADOS</b>				
Coefficiente de transferencia de masa:	$k_{-}$	<b>0,00592</b>	m/s	
Flujo másico de evaporación:	$m_{mass}^*$	<b>0,00095</b>	kg/s	

<b>DISPERSIÓN GAUSSIANA</b>		
<b>DATOS DE ENTRADA</b>		
Caudal de Descarga:	0,95	g/s
Altura de Descarga	1,5	m
Incremento:	5	m
Velocidad del Viento:	5	m/s
Peso Molecular	49,7	
Temperatura:	298	K
Presión:	1	atm.
Concentración Isopleta:	2000	ppm
Clase de Estabilidad Asumida: F		

	Coeficientes Dispersión		Concentración	Concentración	Concentración	Isopleta		
Distancia	Sigma	Sigma	Downwind	Downwind	Downwind	Posición	Posición	Area
Downwind	z	y	Central	Central	Central	Positiva	Negative	
(m)	(m)	(m)	(g/m^3)	(mg/m^3)	(ppm)	(m)		(m^2)
65	1,02	2,59	0,01	7,76	3,82	0	0	0
70	1,10	2,79	0,01	7,76	3,82	0	0	0



INCENDIO DE LÍQUIDO EN CHARCO CON DERRAME CONTINUO			
Caudal de escape de líquido	m <sup>3</sup> /s		0,4379
Calor de combustión del líquido	kJ/kg		46000
Calor de vaporización del líquido	kJ/kg		333
Temperatura de ebullición del líquido	K		227
Temperatura ambiente	K		298
Presión ambiente	kPa		100
Densidad del líquido	kg/m <sup>3</sup>		490
Calor específico del líquido	kJ/kg-K		1,38
Diámetro del dique de contención	m		1,5
Distancia del receptor al borde del charco	m		15
Humedad relativa	%		50
Eficiencia de radiación	-		0,35

RESULTADOS			
Densidad del aire		kg/m <sup>3</sup>	1,171
Calor de vaporización modificado		kJ/kg	333
Velocidad vertical de combustión		m/s	1,75E-04
Caudal másico específico de combustión		kg/m <sup>2</sup> -s	0,08596
Diámetro máximo del charco		m	56,37
Diámetro usado en el cálculo		m	1,50
Área del charco		m <sup>2</sup>	1,77
Relación altura/diámetro de la llama		-	3,76
Altura de la llama		m	5,64
Presión parcial de vapor de agua		Pa	1580
Flujo de energía radiada		kW	2446
Modelo Fuente Puntual			
Altura de la fuente puntual		m	2,82
Distancia del receptor a la fuente puntual		m	16,00
Factor de visión		m <sup>(-2)</sup>	3,108E-04
Transmitancia del aire		-	0,81
Flujo térmico al receptor		kW/m <sup>2</sup>	0,617
Modelo de penacho sólido			
Poder emisor de la fuente s/humo		kW/m <sup>2</sup>	92,00
Poder emisor de la fuente c/humo		kW/m <sup>2</sup>	120,23
Distancia del receptor al eje de la llama		m	15,75
Radio de la llama		m	0,75
Relación altura/radio de la llama		-	7,52
Distancia reducida al eje de la llama		-	21,00
Valores interpolados de la figura:			
	Llama	Factor	
	altura/radio	visión	
	0,5	0,00044	
	1	0,00085	
	3	0,00373	
	6	0,00721	
Tabla extra para interpolación en EXCEL:			
	3	0,00373	
	6	0,00721	
Factor de Visión (interpolado):		-	0,009
Transmitancia:			0,816
Flujo térmico al receptor (llama s/humo)		kW/m <sup>2</sup>	0,67
Flujo térmico al receptor (llama c/humo)		kW/m <sup>2</sup>	0,881

<b>EXPLOSIONES DE NUBES DE VAPOR NO CONFINADAS - MODELO TNT EQUIVALENTE</b>			
Masa total del material inflamable		kg	7.000
Calor de combustión		kJ/kg	46000
Rendimiento de la explosión		fracción	0,1
Distancia de la explosión		m	50
<b>RESULTADOS</b>			
Masa de TNT equivalente		kg	6880,3
Distancia reducida, z		m/kg**(1/3)	2,629
Cálculo de sobrepresión:	(sólo válido para 0.0674<= z <= 40)		
	a+b*log(z):		0,35246598
	Sobrepresión:	kPa	153,58
		psi	22,28
Cálculo del impulso	(sólo válido para 0.0674<= z <= 40)		
	a+b*log(z):		-0,93671957
	Impulso:	Pa s	104,3323
Cálculo de la duración fase positiva	(sólo válido para 0.178<= z <= 40)		
	a+b*log(z):		1,77874894
	Duration:	ms	2,44
Cálculo del tiempo de llegada:	(sólo válido para 0.178<= z <= 40)		
	a+b*log(z):		0,37594652
	Tiempo de llegada:	ms	2,80

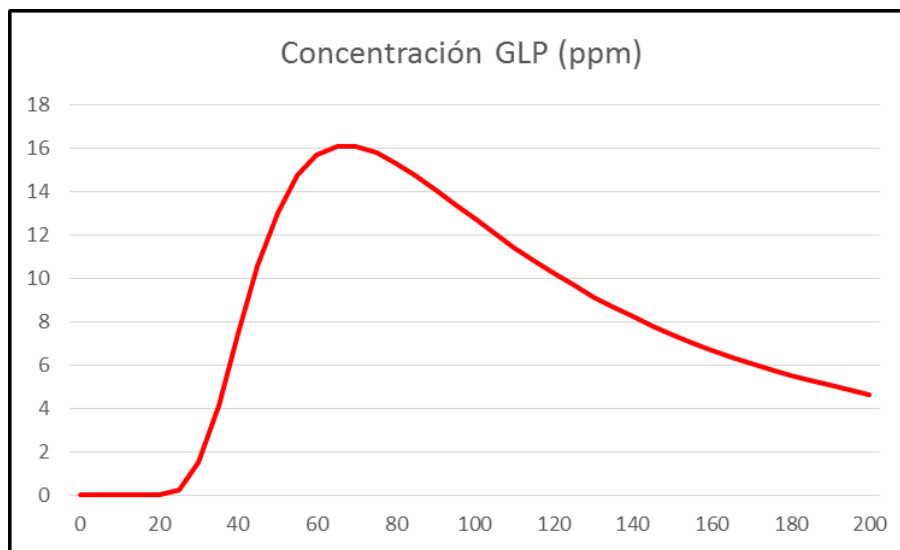
### GLP Rotura Total

<b>EVAPORACION DE CHARCO - MODELO DE KAWAMURA y MACKAY</b>				
Temperatura ambiente:		<i>T</i>	298	K
Velocidad del viento a 10 m:		<i>u</i>	5	m/s
Diámetro del charco		<i>dp</i>	3	m
Constante universal de los gases		<i>R</i>	8,314	
				kPa m <sup>3</sup> /molkg K
<u>Propiedades físicas del GLP:</u>				
Peso molecular:		<i>M</i>	49,7	kg/molkg
Calor de vaporización:		<i>Hv</i>	16550	kJ/molkg
Presión de vapor de temperatura ambiente:		<i>psat</i>	0,8	kPa
Viscosidad cinemática en aire:		<i>v</i>	1,50E-05	m <sup>**2</sup> /s
<u>Propiedades físicas del aire:</u>				
Difusividad:		<i>D</i>	7,10E-06	m <sup>**2</sup> /s
<u>Propiedades de transferencia de calor:</u>				
Radiación solar:		<i>Qsol</i>	0,642	kJ/m <sup>**2</sup> s
Coefficiente de transferencia de calor del pentano:		<i>h liq</i>	0,0431	kJ/m <sup>**2</sup> s K
Coefficiente de transferencia de calor del suelo:		<i>h grl</i>	0,0453	kJ/m <sup>**2</sup> s K

ECUACIONES			
$m_{sol}^* = \frac{Q_{sol} M A}{H_v}$			Evaporación debida a la radiación solar
$m_{mass}^* = M k_g A P^{sat} / R T_L$			Evaporación por transferencia de masa
$m_{tot}^* = m_{sol}^* \left( \frac{1}{1 + \beta} \right) + m_{mass}^* \left( \frac{1}{1 + \beta} \right)$			Evaporación neta
$\beta = \left[ \left( 3650 \frac{kJ kPa}{mol_{kg} K} \right) Sc^{0.67} + \frac{U_{grd} R T}{k_g} \right] \frac{R T^2}{p^{sat} H_v^2}$			Parámetro
$k_g = 0.00482 Sc^{-0.67} u^{0.78} d_p^{-0.11}$			Coefficiente de transferencia masa
$Sc = \frac{\nu}{D_m M} = \frac{\nu}{D}$	$\frac{1}{U_{grd}} = \frac{1}{h_{liq}} + \frac{1}{h_{grd}}$	$A = \pi d_p^2 / 4$	
RESULTADOS			
Area del charco:	<b>A</b>	20	m2
Número de Schmidt:	<b>Sc</b>	2,11	adimensional
Coefficiente de transferencia de masa:	<b>kg</b>	0,009081	m/s
Coefficiente global de transferencia de calor	<b>U<sub>grd</sub></b>	0,022086	J/m**2s K
Evaporación por transferencia de masa:	<b>m<sub>mass</sub></b>	0,002915	kg/s
Evaporación debida a la radiación solar:	<b>m<sub>solar</sub></b>	0,038559	kg/s
Parámetro	<b>β</b>	40,604	
Flujo de neto de evaporación:	<b>m<sub>tot</sub></b>	0,004	kg/s

DISPERSIÓN GAUSSIANA		
DATOS DE ENTRADA		
Caudal de Descarga:	4	g/s
Altura de Descarga	1,5	m
Incremento:	5	m
Velocidad del Viento:	5	m/s
Peso Molecular	49,7	
Temperatura:	298	K
Presión:	1	atm.
Concentración Isopleta:	2000	ppm
Clase de Estabilidad Asumida: F		

Distancia Downwind (m)	Coeficientes Dispersión		Concentración	Concentración	Concentración	Isopleta		Area (m <sup>2</sup> )
	Sigma z (m)	Sigma y (m)	Downwind Central (g/m <sup>3</sup> )	Downwind Central (mg/m <sup>3</sup> )	Downwind Central (ppm)	Posición Positiva (m)	Posición Negative	
75	1,17	2,99	0,032	32,1	15,8	0,0	0,0	0,0
80	1,25	3,19	0,031	31,1	15,3	0,0	0,0	0,0



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL



<b>INCENDIO DE CHARCO</b>			
Calor de combustión del líquido		kJ/kg	46000
Calor de vaporización del líquido		kJ/kg	333
Temperatura de ebullición del líquido		K	227
Temperatura ambiente		K	298
Presión ambiente		kPa	100
Calor específico del líquido		kJ/kg-K	1,38
Diámetro del charco		m	4,00
Distancia del receptor al borde del charco		m	15
Humedad relativa		%	50
Eficiencia de radiación		-	0,35
<b>RESULTADOS</b>			
Densidad del aire		kg/m <sup>3</sup>	1,171
Calor de vaporización modificado		kJ/kg	333
Velocidad vertical de combustión		m/s	1,75E-04
Caudal másico específico de combustión		kg/m <sup>2</sup> -s	0,1381
Área del charco		m <sup>2</sup>	12,57
Caudal másico de combustión		kg/s	1,736
Relación altura/diámetro de la llama		-	3,72
Altura de la llama		m	14,90
Presión parcial de vapor de agua		Pa	1580
Flujo de energía radiada		kW	27948
<b>Modelo Fuente Puntual</b>			
Altura de la fuente puntual		m	7,45
Distancia del receptor a la fuente puntual		m	18,56
Factor de visión		m <sup>(-2)</sup>	2,310E-04
Transmitancia del aire		-	0,80
Flujo térmico al receptor		kW/m <sup>2</sup>	5,167
<b>Modelo de penacho sólido</b>			
Poder emisor de la fuente s/humo		kW/m <sup>2</sup>	149,29
Poder emisor de la fuente c/humo		kW/m <sup>2</sup>	94,25
Distancia del receptor al eje de la llama		m	17,00
Radio de la llama		m	2
Relación altura/radio de la llama		-	7,45
Distancia reducida al eje de la llama		-	8,50
Valores interpolados de la figura:			
	Llama	Factor	
	altura/radio	visión	
	0,5	0,00334	
	1	0,00836	
	3	0,02583	
	6	0,04138	
Tabla extra para interpolación en EXCEL:			
	3	0,02583	
	6	0,04138	
Factor de Visión (interpolado):		-	0,049
Transmitancia:			0,816
Flujo térmico al receptor (llama s/humo)		kW/m <sup>2</sup>	5,95
Flujo térmico al receptor (llama c/humo)		kW/m <sup>2</sup>	3,76

<b>EXPLOSIONES DE NUBES DE VAPOR NO CONFINADAS - MODELO TNT EQUIVALENTE</b>			
Masa total del material inflamable		kg	7.000
Calor de combustión		kJ/kg	46000
Rendimiento de la explosión		fracción	0,1
Distancia de la explosión		m	50
<b>RESULTADOS</b>			
Masa de TNT equivalente		kg	6880,3
Distancia reducida, z		m/kg**(1/3)	2,629
Cálculo de sobrepresión:	(sólo válido para 0.0674<= z <= 40)		
	a+b*log(z):		0,35246598
	Sobrepresión:	kPa	153,58
		psi	22,28
Cálculo del impulso	(sólo válido para 0.0674<= z <= 40)		
	a+b*log(z):		-0,93671957
	Impulso:	Pa s	104,3323
Cálculo de la duración fase positiva	(sólo válido para 0.178<= z <= 40)		
	a+b*log(z):		1,77874894
	Duration:	ms	2,44
Cálculo del tiempo de llegada:	(sólo válido para 0.178<= z <= 40)		
	a+b*log(z):		0,37594652
	Tiempo de llegada:	ms	2,80

<b>BLEVE - BOILING LIQUID VAPOUR EXPANSION EXPLOSION</b>			
Volumen del recipiente		m <sup>3</sup>	35
Masa metálica del recipiente		kg	7000
Superficie exterior del recipiente		m <sup>2</sup>	59
Porcentaje volumétrico de líquido		%	85
Temperatura antes de la rotura		K	298
Presión de rotura del recipiente		bar abs.	30
Densidad del líquido		kg/m <sup>3</sup>	490
Temperatura de ebullición del combustible		K	227
Temperatura crítica del combustible		K	97
k = Cp/Cv		-	1,4
Calor específico del combustible líquido		kJ/kg K	28
Calor de vaporización		kJ/kg	16550
Calor de combustión		kJ/kg	46000
Peso molecular del combustible		-	49,7
Fracción radiante del calor de combustión		-	0,2
Temperatura ambiente		K	298
Presión ambiente		bar abs.	1,01325
Humedad relativa ambiente		%	50
Coefficiente de arrastre de los fragmentos		-	0,5
Relación sustentación / arrastre		-	0,2
Distancia horizontal esfera de fuego - receptor		m	50

<b>ENERGÍA DE LA EXPLOSIÓN</b>			
Volumen de líquido		m <sup>3</sup>	29,75
Volumen de vapor		m <sup>3</sup>	5,25
<b>Modelo CCPs (energía de la cámara de vapor)</b>			
Energía de la explosión		kg TNT	11,4
<b>Modelo de Prough (energía de la cámara de vapor + vaporización)</b>			
Densidad del vapor @ P1 y T1		kg/m <sup>3</sup>	60,18
Fracción de líquido vaporizada		-	0,099
Volumen de vapor generado por vaporización		m <sup>3</sup>	23,96
Volumen total de vapor liberado		m <sup>3</sup>	29,21
Energía de la explosión		kg TNT	29,0
<b>PROYECTILES</b>			
Número de proyectiles		-	3
Masa promedio de cada proyectil		kg	2333,3
Area superficial promedio de cada proyectil		m <sup>2</sup>	19,7
Diámetro equivalente de cada proyectil		m	2,5
Velocidad inicial de cada proyectil		m/s	174,6
Densidad del aire		kg/m <sup>3</sup>	1,19
Velocidad inicial reducida de cada proyectil		-	15,5
Alcance en función sustentación - arrastre (interp. Fig. 2.63, pág. 261)			
	Relación sust.-arr.	Alcance (reducido)	Alcance (m)
	0	3,3406919	668,4
	0,5	3,6788278	736,0
	1	3,960027	792,3
	3	0,7943839	158,9
	5	0,4837517	96,8
	10	0,2419215	48,4
	30	0,0790969	15,8
	50	0,0486448	9,7
	100	0,0236511	4,7
Tabla auxiliar para interpolación con Excel			
	0	668,38103	
	0,5	736,03279	
Alcance interpolado:			m 695,4
Alcance máximo teórico (sin sustentación)			m 3112,2
Alcance máximo posible (con sustentación)			m 792,3

<b>RADIACIÓN (Esfera de fuego)</b>				
Presión parcial de vapor de agua en el aire	Pa abs.	1579,9		
Masa de combustible líquido derramado	kg	14577,5		
Fracción teórica adiabática vaporizada	-	0,113		
Fracción de combustible en la esfera de fuego	-	0,323		
Masa máxima / estimada en la esfera de fuego	kg	14577,5	4714,2	
Diámetro máximo de la esfera de fuego	m	141,6	97,2	
Duración de la combustión	s	11,0	7,5	
Altura del centro de la esfera de fuego	m	106,2	72,9	
Diámetro inicial de la semiesfera en el suelo	m	184,1	126,4	
<b>Modelo Fuente Puntual</b>				
Flujo de energía radiada	kW	12204017	5749607	
Distancia del receptor a la fuente puntual	m	117,4	88,4	
Factor de visión	m <sup>(-2)</sup>	5,77289E-06	1,01799E-05	
Transmitancia del aire	-	0,678	0,695	
Flujo térmico recibido por el receptor	kW/m <sup>2</sup>	47,76	40,71	
<b>Modelo de esfera sólida</b>				
Poder emisor de la fuente	kW/m <sup>2</sup>	193,6	193,6	
Distancia de la esfera de fuego al receptor	m	46,6	39,8	
Transmitancia del aire	-	0,737	0,747	
<u>Receptor en posición horizontal</u>				
Factor de visión	-	0,329	0,249	
Flujo de radiación recibida	kW/m <sup>2</sup>	46,96	36,07	
<u>Receptor en posición vertical</u>				
Factor de visión	-	No disponible	0,171	
Flujo de radiación recibida	kW/m <sup>2</sup>	No disponible	24,74	

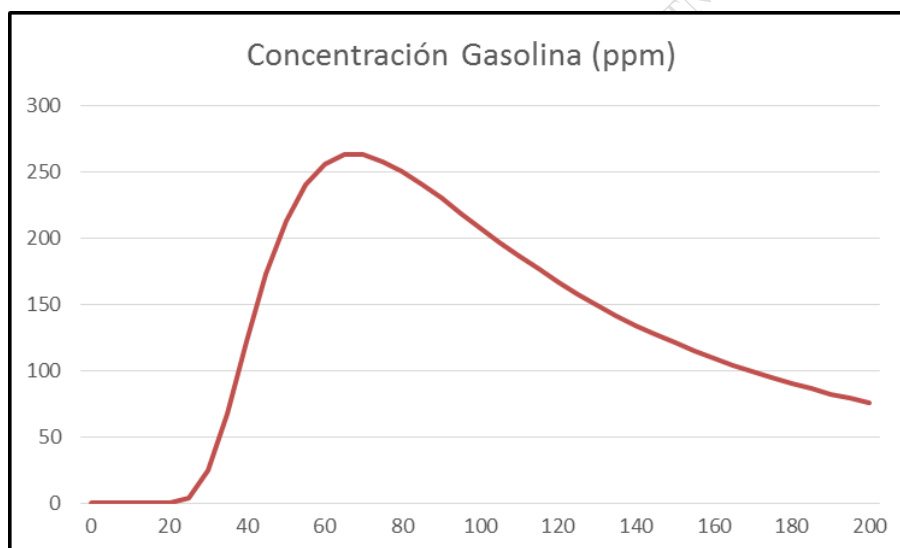
Gasolina Rotura Parcial

DESCARGA DE LIQUIDO A TRAVES DE UN AGUJERO		
Input Data:		
Tank pressure above liquid:		1 barg
Pressure outside hole:		1 barg
Liquid density:		680 kg/m**3
Liquid level above hole:		1 m
Hole diameter:		10 mm
Excess Head Loss Factors:		
Entrance:	0,5	
Exit:	1	
Others:	0	
TOTAL:	1,5	
Calculated Results:		
Hole area:		7,85E-05 m**2
Equation terms:		
Pressure term:		0 m**2/s**2
Height term:		-9,8 m**2/s**2
Velocity coefficient:		1,25
Exit velocity:		2,8 m/s
Mass flow:		0,15 kg/s

EVAPORACIÓN DE CHARCO			
Peso molecular Nafta :	<b>M</b>	114	kg/molkg
Area del charco	<b>A</b>	10	m**2
Presión de vapor de saturación :	<b>psat</b>	514	mm Hg
Constante universal de los gases:	<b>R</b>	0,082057	atm m3/molkg K
Temperatura ambiente	<b>T</b>	298	K
Coefficiente de transferencia del agua	$k_g^0$	0,0083	m/s
Peso molecular del agua:	<b>Mo</b>	18	kg/molkg
ECUACIONES			
$m_{mass}^* = \frac{M k_g A P^{sat}}{R T_L}$		$T = T_L$	
$k_g = k_g^0 \left( \frac{M_0}{M} \right)^{1/3}$		$v$	
RESULTADOS			
Coefficiente de transferencia de masa:	$k_g$	<b>0,00449</b>	m/s
Flujo másico de evaporación:	$m_{mass}^*$	<b>0,14145</b>	kg/s

<b>DISPERSIÓN GAUSSIANA</b>		
Caudal de Descarga:	150	g/s
Altura de Descarga	1,5	m
Incremento:	5	m
Velocidad del Viento:	5	m/s
Peso Molecular	114	
Temperatura:	298	K
Presión:	1	atm.
Concentración Isopleta:	1100	ppm
Clase de Estabilidad Asumida: F		

Distancia Downwind (m)	Coeficientes Dispersión		Concentración	Concentración	Concentración	Isopleta		Area (m <sup>2</sup> )
	Sigma z (m)	Sigma y (m)	Downwind Central (g/m <sup>3</sup> )	Downwind Central (mg/m <sup>3</sup> )	Downwind Central (ppm)	Posición Positiva (m)	Posición Negative	
65	1,02	2,59	1,225	1225,3	262,8	0,0	0,0	0,0
70	1,10	2,79	1,225	1224,9	262,7	0,0	0,0	0,0



<b>INCENDIO DE LÍQUIDO EN CHARCO CON DERRAME CONTINUO</b>			
Caudal de escape de líquido		m <sup>3</sup> /s	0,00015
Calor de combustión del líquido		kJ/kg	47000
Calor de vaporización del líquido		kJ/kg	3600
Temperatura de ebullición del líquido		K	50
Temperatura ambiente		K	298
Presión ambiente		kPa	100
Densidad del líquido		kg/m <sup>3</sup>	680
Calor específico del líquido		kJ/kg-K	2,22
Diámetro del dique de contención		m	1,5
Distancia del receptor al borde del charco		m	15
Humedad relativa		%	50
Eficiencia de radiación		-	0,35

<b>RESULTADOS</b>			
Densidad del aire		kg/m <sup>3</sup>	1,171
Calor de vaporización modificado		kJ/kg	3600
Velocidad vertical de combustión		m/s	1,66E-05
Caudal másico específico de combustión		kg/m <sup>2</sup> -s	0,01127
Diámetro máximo del charco		m	3,39
Diámetro usado en el cálculo		m	1,50
Área del charco		m <sup>2</sup>	1,77
Relación altura/diámetro de la llama		-	1,09
Altura de la llama		m	1,63
Presión parcial de vapor de agua		Pa	1580
Flujo de energía radiada		kW	328
<b>Modelo Fuente Puntual</b>			
Altura de la fuente puntual		m	0,82
Distancia del receptor a la fuente puntual		m	15,77
Factor de visión		m <sup>(-2)</sup>	3,199E-04
Transmitancia del aire		-	0,81
Flujo térmico al receptor		kW/m <sup>2</sup>	0,085
<b>Modelo de penacho sólido</b>			
Poder emisor de la fuente s/humo		kW/m <sup>2</sup>	42,56
Poder emisor de la fuente c/humo		kW/m <sup>2</sup>	120,23
Distancia del receptor al eje de la llama		m	15,75
Radio de la llama		m	0,75
Relación altura/radio de la llama		-	2,18
Distancia reducida al eje de la llama		-	21,00
Valores interpolados de la figura:			
	Llama	Factor	
	altura/radio	visión	
	0,5	0,00044	
	1	0,00085	
	3	0,00373	
	6	0,00721	
Tabla extra para interpolación en EXCEL:			
	1	0,00085	
	3	0,00373	
Factor de Visión (interpolado):		-	0,003
Transmitancia:			0,816
Flujo térmico al receptor (llama s/humo)		kW/m <sup>2</sup>	0,09
Flujo térmico al receptor (llama c/humo)		kW/m <sup>2</sup>	0,250

<b>MODELO TNT EQUIVALENTE</b>			
Masa total del material inflamable		kg	8.670
Calor de combustión		kJ/kg	47000
Rendimiento de la explosión		fracción	0,1
Distancia de la explosión		m	50
<b>RESULTADOS</b>			
Masa de TNT equivalente		kg	8707,1
Distancia reducida, z		m/kg**(1/3)	2,430
Cálculo de sobrepresión:	(sólo válido para 0.0674<= z <= 40)		
	a+b*log(z):		0,30643682
	Sobrepresión:	kPa	182,59
		psi	26,49
Cálculo del impulso	(sólo válido para 0.0674<= z <= 40)		
	a+b*log(z):		-1,01876628
	Impulso:	Pa s	112,0462
Cálculo de la duración fase positiva	(sólo válido para 0.178<= z <= 40)		
	a+b*log(z):		1,46175223
	Duration:	ms	2,24
Cálculo del tiempo de llegada:	(sólo válido para 0.178<= z <= 40)		
	a+b*log(z):		0,32897998
	Tiempo de llegada:	ms	2,43

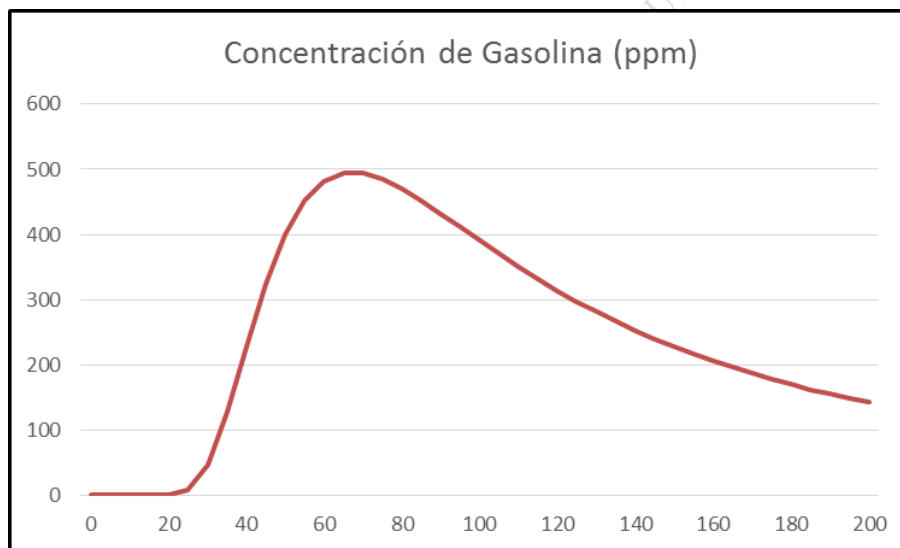
Gasolina Rotura Total

<b>EVAPORACION DE CHARCO</b>			
Peso molecular Nafta :	<b>M</b>	114	kg/molkg
Area del charco	<b>A</b>	20	m**2
Presión de vapor de saturación :	<b>psat</b>	514	mm Hg
Constante universal de los gases:	<b>R</b>	0,082057	atm m3/molkg K
Temperatura ambiente	<b>T</b>	298	K
Coefficiente de transferencia del agua	$k_g^0$	0,0083	m/s
Peso molecular del agua:	<b>Mo</b>	18	kg/molkg
<b>ECUACIONES</b>			
$m_{mass}^* = \frac{M k_g A P^{sat}}{R T_L}$		$T = T_L$	
$k_g = k_g^0 \left( \frac{M_0}{M} \right)^{1/3}$		$V$	
<b>RESULTADOS</b>			
Coefficiente de transferencia de masa:	$k_g$	<b>0,00449</b>	m/s
Flujo másico de evaporación:	$m_{mass}^*$	<b>0,28289</b>	kg/s



<b>DISPERSIÓN GAUSSIANA</b>		
Caudal de Descarga:	282	g/s
Altura de Descarga	1,5	m
Incremento:	5	m
Velocidad del Viento:	5	m/s
Peso Molecular	114	
Temperatura:	298	K
Presión:	1	atm.
Concentración Isopleta:	1100	ppm
Clase de Estabilidad Asumida: F		

	Coeficientes Dispersión		Concentración	Concentración	Concentración	Isopleta		
Distancia Downwind (m)	Sigma z (m)	Sigma y (m)	Downwind Central (g/m <sup>3</sup> )	Downwind Central (mg/m <sup>3</sup> )	Downwind Central (ppm)	Posición Positiva (m)	Posición Negative	Area (m <sup>2</sup> )
65	1,02	2,59	2,304	2303,6	494,1	0,0	0,0	0,0
70	1,10	2,79	2,303	2302,9	493,9	0,0	0,0	0,0



<b>INCENDIO DE CHARCO</b>		
Calor de combustión del líquido	kJ/kg	47000
Calor de vaporización del líquido	kJ/kg	3600
Temperatura de ebullición del líquido	K	50
Temperatura ambiente	K	298
Presión ambiente	kPa	100
Calor específico del líquido	kJ/kg-K	2,22
Diámetro del charco	m	4,00
Distancia del receptor al borde del charco	m	15
Humedad relativa	%	50
Eficiencia de radiación	-	0,35

<b>RESULTADOS</b>			
Densidad del aire		kg/m <sup>3</sup>	1,171
Calor de vaporización modificado		kJ/kg	3600
Velocidad vertical de combustión		m/s	1,66E-05
Caudal másico específico de combustión		kg/m <sup>2</sup> -s	0,0131
Área del charco		m <sup>2</sup>	12,57
Caudal másico de combustión		kg/s	0,164
Relación altura/diámetro de la llama		-	0,88
Altura de la llama		m	3,53
Presión parcial de vapor de agua		Pa	1580
Flujo de energía radiada		kW	2699
<b>Modelo Fuente Puntual</b>			
Altura de la fuente puntual		m	1,77
Distancia del receptor a la fuente puntual		m	17,09
Factor de visión		m <sup>^(-2)</sup>	2,724E-04
Transmitancia del aire		-	0,81
Flujo térmico al receptor		kW/m <sup>2</sup>	0,593
<b>Modelo de penacho sólido</b>			
Poder emisor de la fuente s/humo		kW/m <sup>2</sup>	60,79
Poder emisor de la fuente c/humo		kW/m <sup>2</sup>	94,25
Distancia del receptor al eje de la llama		m	17,00
Radio de la llama		m	2
Relación altura/radio de la llama		-	1,77
Distancia reducida al eje de la llama		-	8,50
<b>Valores interpolados de la figura:</b>			
	Llama	Factor	
	altura/radio	visión	
	0,5	0,00334	
	1	0,00836	
	3	0,02583	
	6	0,04138	
<b>Tabla extra para interpolación en EXCEL:</b>			
	1	0,00836	
	3	0,02583	
Factor de Visión (interpolado):		-	0,015
Transmitancia:			0,816
Flujo térmico al receptor (llama s/humo)		kW/m <sup>2</sup>	0,75
Flujo térmico al receptor (llama c/humo)		kW/m <sup>2</sup>	1,16

<b>EXPLOSIONES DE NUBES DE VAPOR NO CONFINADAS - MODELO TNT EQUIVALENTE</b>			
Masa total del material inflamable		kg	8.670
Calor de combustión		kJ/kg	47000
Rendimiento de la explosión		fracción	0,1
Distancia de la explosión		m	50

<b>RESULTADOS</b>			
Masa de TNT equivalente		kg	8707,1
Distancia reducida, z		m/kg**(1/3)	2,430
Cálculo de sobrepresión:	(sólo válido para 0.0674<= z <= 40)		
	a+b*log(z):		0,30643682
	Sobrepresión:	kPa	182,59
		psi	26,49
Cálculo del impulso	(sólo válido para 0.0674<= z <= 40)		
	a+b*log(z):		-1,01876628
	Impulso:	Pa s	112,0462
Cálculo de la duración fase positiva	(sólo válido para 0.178<= z <= 40)		
	a+b*log(z):		1,46175223
	Duration:	ms	2,24
Cálculo del tiempo de llegada:	(sólo válido para 0.178<= z <= 40)		
	a+b*log(z):		0,32897998
	Tiempo de llegada:	ms	2,43

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL UTN-FRBB

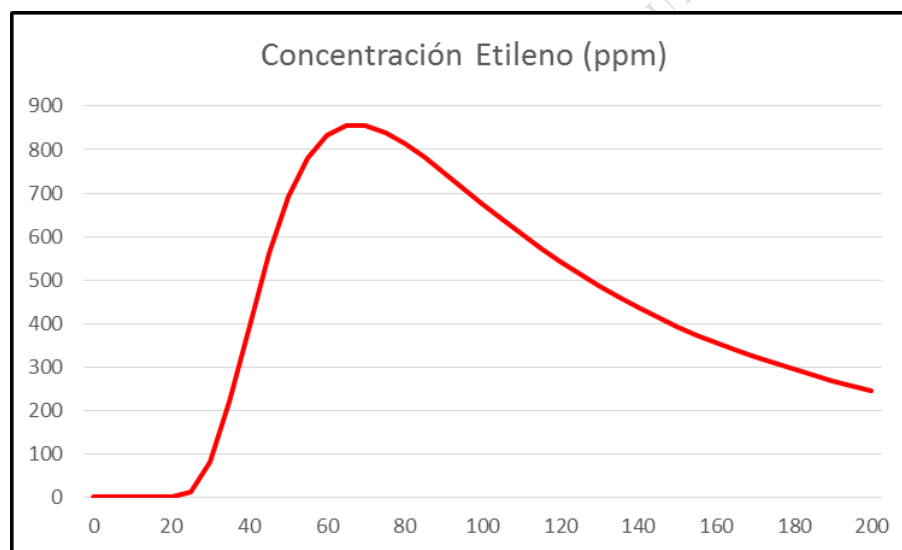
Etileno Rotura Parcial

DESCARGA DE LIQUIDO A TRAVES DE UN AGUJERO			
Input Data:			
Tank pressure above liquid:		1 barg	
Pressure outside hole:		1 barg	
Liquid density:		567,65 kg/m <sup>3</sup>	
Liquid level above hole:		1 m	
Hole diameter:		10 mm	
Excess Head Loss Factors:			
Entrance:		0,5	
Exit:		1	
Others:		0	
	TOTAL:	1,5	
Calculated Results:			
Hole area:		7,85E-05 m <sup>2</sup>	
Equation terms:			
Pressure term:		0 m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	
Height term:		-9,8 m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	
Velocity coefficient:		1,25	
Exit velocity:		2,8 m/s	
Mass flow:		0,12 kg/s	

EVAPORACION DE CHARCO			
Peso molecular Etileno :	<b>M</b>	28,05	kg/molkg
Area del charco	<b>A</b>	10	m <sup>2</sup>
Presión de vapor de saturación :	<b>psat</b>	39911	mm Hg
Constante universal de los gases:	<b>R</b>	0,082057	atm m <sup>3</sup> /molkg K
Temperatura ambiente	<b>T</b>	298	K
Coefficiente de transferencia del agua	$k_g^0$	0,0083	m/s
Peso molecular del agua:	<b>Mo</b>	18	kg/molkg
<b>ECUACIONES</b>			
$m_{mass}^* = \frac{M k_g A P^{sat}}{R T_L}$		$T = T_L$	
$k_g = k_g^0 \left( \frac{M_0}{M} \right)^{1/3}$			
<b>RESULTADOS</b>			
Coefficiente de transferencia de masa:	$k_g$	<b>0,00716</b>	m/s
Flujo másico de evaporación:	$m_{mass}^*$	<b>4,31259</b>	kg/s

DISPERSIÓN GAUSSIANA		
Caudal de Descarga:	120	g/s
Altura de Descarga	1,5	m
Incremento:	5	m
Velocidad del Viento:	5	m/s
Peso Molecular	28,05	
Temperatura:	298	K
Presión:	1	atm.
Concentración Isopleta:	200	ppm
Clase de Estabilidad Asumida: F		

Distancia Downwind (m)	Coeficientes Dispersión		concentración Central			Isopleta		Area (m <sup>2</sup> )
	Sigma z (m)	Sigma y (m)	Downwind Central (g/m <sup>3</sup> )	Downwind Central (mg/m <sup>3</sup> )	Downwind Central (ppm)	Posición Positiva (m)	Posición Negative (m)	
65	1,02	2,59	0,980	980,3	854,5	4,4	-4,4	22,1
70	1,10	2,79	0,980	979,9	854,2	4,8	-4,8	23,8



<b>INCENDIO DE LÍQUIDO EN CHARCO CON DERRAME CONTINUO</b>			
Caudal de escape de líquido	m <sup>3</sup> /s		0,00012
Calor de combustión del líquido	kJ/kg		29400
Calor de vaporización del líquido	kJ/kg		482
Temperatura de ebullición del líquido	K		170
Temperatura ambiente	K		298
Presión ambiente	kPa		100
Densidad del líquido	kg/m <sup>3</sup>		567,65
Calor específico del líquido	kJ/kg-K		1,95
Diámetro del dique de contención	m		1,5
Distancia del receptor al borde del charco	m		15
Humedad relativa	%		50
Eficiencia de radiación	-		0,35
<b>RESULTADOS</b>			
Densidad del aire	kg/m <sup>3</sup>		1,171
Calor de vaporización modificado	kJ/kg		482
Velocidad vertical de combustión	m/s		7,75E-05
Caudal máxico específico de combustión	kg/m <sup>2</sup> -s		0,04397
Diámetro máximo del charco	m		1,40
Diámetro usado en el cálculo	m		1,40
Área del charco	m <sup>2</sup>		1,55
Relación altura/diámetro de la llama	-		2,55
Altura de la llama	m		3,58
Presión parcial de vapor de agua	Pa		1580
Flujo de energía radiada	kW		701
<b>Modelo Fuente Puntual</b>			
Altura de la fuente puntual	m		1,79
Distancia del receptor a la fuente puntual	m		15,80
Factor de visión	m <sup>(-2)</sup>		3,186E-04
Transmitancia del aire	-		0,81
Flujo térmico al receptor	kW/m <sup>2</sup>		0,181

Modelo de penacho sólido			
Poder emisor de la fuente s/humo		kW/m <sup>2</sup>	44,37
Poder emisor de la fuente c/humo		kW/m <sup>2</sup>	121,39
Distancia del receptor al eje de la llama		m	15,70
Radio de la llama		m	0,70220462
Relación altura/radio de la llama		-	5,10
Distancia reducida al eje de la llama		-	22,36
Valores interpolados de la figura:			
	Llama altura/radio	Factor visión	
	0,5	0,00038	
	1	0,00072	
	3	0,00322	
	6	0,00626	
Tabla extra para interpolación en EXCEL:			
	3	0,00322	
	6	0,00626	
Factor de Visión (interpolado):		-	0,005
Transmitancia:			0,816
Flujo térmico al receptor (llama s/humo)		kW/m <sup>2</sup>	0,19
Flujo térmico al receptor (llama c/humo)		kW/m <sup>2</sup>	0,529

MODELO TNT EQUIVALENTE			
Masa total del material inflamable		kg	6.812
Calor de combustión		kJ/kg	29400
Rendimiento de la explosión		fracción	0,1
Distancia de la explosión		m	50
RESULTADOS			
Masa de TNT equivalente		kg	4279,3
Distancia reducida, z		m/kg <sup>**</sup> (1/3)	3,080
Cálculo de sobrepresión:	(sólo válido para 0.0674<= z <= 40)		
	a+b*log(z):		0,44529478
	Sobrepresión:	kPa	109,47
		psi	15,88
Cálculo del impulso	(sólo válido para 0.0674<= z <= 40)		
	a+b*log(z):		-0,77125279
	Impulso:	Pa s	90,6290
Cálculo de la duración fase positiva	(sólo válido para 0.178<= z <= 40)		
	a+b*log(z):		-1,84430454
	Duration:	ms	2,89
Cálculo del tiempo de llegada:	(sólo válido para 0.178<= z <= 40)		
	a+b*log(z):		0,47066578
	Tiempo de llegada:	ms	3,71

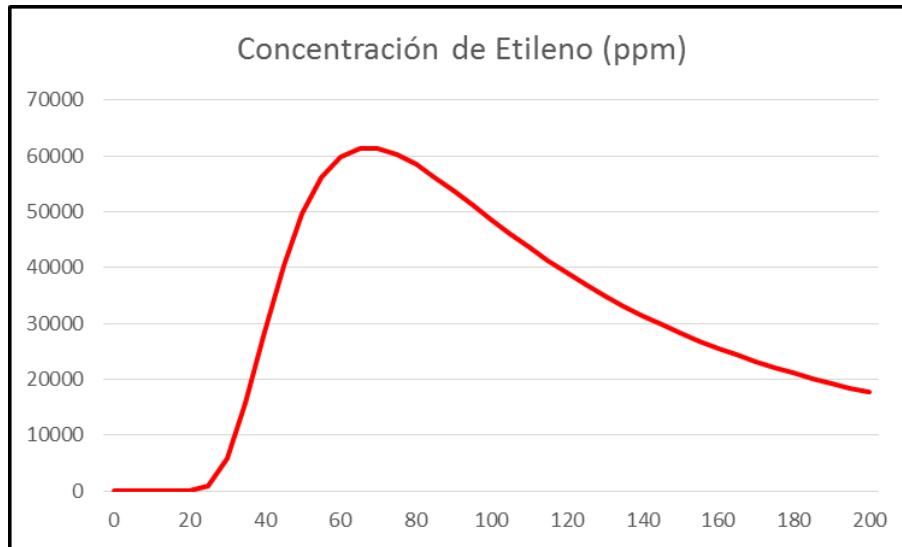
Etileno Rotura Total

<b>EVAPORACION DE CHARCO</b>				
Peso molecular Etileno :	<b>M</b>	28,05	kg/molkg	
Area del charco	<b>A</b>	20	m**2	
Presión de vapor de saturación :	<b>psat</b>	39911	mm Hg	
Constante universal de los gases:	<b>R</b>	0,082057	atm m3/molkg K	
Temperatura ambiente	<b>T</b>	298	K	
Coefficiente de transferencia del agua	$k_g^0$	0,0083	m/s	
Peso molecular del agua:	<b>Mo</b>	18	kg/molkg	
<b>ECUACIONES</b>				
$m_{mass}^* = \frac{M k_g A P^{sat}}{R T_L}$		<b>T= TL</b>		
$k_g = k_g^0 \left( \frac{M_0}{M} \right)^{1/3}$				
<b>RESULTADOS</b>				
Coefficiente de transferencia de masa:	$k_g$	<b>0,00716</b>	m/s	
Flujo másico de evaporación:	$m_{mass}^*$	<b>8,62518</b>	kg/s	

<b>DISPERSION GAUSSIANA</b>		
Caudal de Descarga:	8625	g/s
Altura de Descarga	1,5	m
Incremento:	5	m
Velocidad del Viento:	5	m/s
Peso Molecular	28,05	
Temperatura:	298	K
Presión:	1	atm.
Concentración Isopleta:	200	ppm
Clase de Estabilidad Asumida: F		

Distancia Downwind (m)	Coeficientes Dispersión		Concentración	Concentración	Concentración	Isopleta		Area (m^2)
	Sigma z (m)	Sigma y (m)	Downwind Central (g/m^3)	Downwind Central (mg/m^3)	Downwind Central (ppm)	Posición Positiva (m)	Posición Negative	
65	1,02	2,59	70,46	70455,83	61415,63	8,8	-8,8	43,9
70	1,10	2,79	70,43	70433,48	61396,15	9,4	-9,4	47,2





<b>INCENDIO DE CHARCO</b>			
Calor de combustión del líquido		kJ/kg	29400
Calor de vaporización del líquido		kJ/kg	482
Temperatura de ebullición del líquido		K	170
Temperatura ambiente		K	298
Presión ambiente		kPa	100
Calor específico del líquido		kJ/kg-K	1,95
Diámetro del charco		m	4,00
Distancia del receptor al borde del charco		m	15
Humedad relativa		%	50
Eficiencia de radiación		-	0,35
<b>RESULTADOS</b>			
Densidad del aire		kg/m <sup>3</sup>	1,171
Calor de vaporización modificado		kJ/kg	482
Velocidad vertical de combustión		m/s	7,75E-05
Caudal másico específico de combustión		kg/m <sup>2</sup> -s	0,0610
Área del charco		m <sup>2</sup>	12,57
Caudal másico de combustión		kg/s	0,766
Relación altura/diámetro de la llama		-	2,26
Altura de la llama		m	9,05
Presión parcial de vapor de agua		Pa	1580
Flujo de energía radiada		kW	7887
<b>Modelo Fuente Puntual</b>			
Altura de la fuente puntual		m	4,52
Distancia del receptor a la fuente puntual		m	17,59
Factor de visión		m <sup>(-2)</sup>	2,571E-04
Transmitancia del aire		-	0,80
Flujo térmico al receptor		kW/m <sup>2</sup>	1,631

Modelo de penacho sólido			
Poder emisor de la fuente s/humo	kW/m <sup>2</sup>		69,37
Poder emisor de la fuente c/humo	kW/m <sup>2</sup>		94,25
Distancia del receptor al eje de la llama	m		17,00
Radio de la llama	m		2
Relación altura/radio de la llama	-		4,52
Distancia reducida al eje de la llama	-		8,50
Valores interpolados de la figura:			
	Llama	Factor	
	0,5	0,00334	
	1	0,00836	
	3	0,02583	
	6	0,04138	
Tabla extra para interpolación en EXCEL:			
	3	0,02583	
	6	0,04138	
Factor de Visión (interpolado):	-		0,034
Transmitancia:			0,816
Flujo térmico al receptor (llama s/humo)	kW/m <sup>2</sup>		1,91
Flujo térmico al receptor (llama c/humo)	kW/m <sup>2</sup>		2,59

EXPLOSIONES DE NUBES DE VAPOR NO CONFINADAS - MODELO TNT EQUIVALENTE			
Masa total del material inflamable		kg	6.812
Calor de combustión		kJ/kg	29400
Rendimiento de la explosión		fracción	0,1
Distancia de la explosión		m	50
<b>RESULTADOS</b>			
Masa de TNT equivalente		kg	4279,3
Distancia reducida, z		m/kg <sup>**</sup> (1/3)	3,080
Cálculo de sobrepresión:	(sólo válido para 0.0674<= z <= 40)		
	a+b*log(z):		0,44529478
	Sobrepresión:	kPa	109,47
		psi	15,88
Cálculo del impulso	(sólo válido para 0.0674<= z <= 40)		
	a+b*log(z):		-0,77125279
	Impulso:	Pa s	90,6290
Cálculo de la duración fase positiva	(sólo válido para 0.178<= z <= 40)		
	a+b*log(z):		-1,84430454
	Duration:	ms	2,89
Cálculo del tiempo de llegada:	(sólo válido para 0.178<= z <= 40)		
	a+b*log(z):		0,47066578
	Tiempo de llegada:	ms	3,71

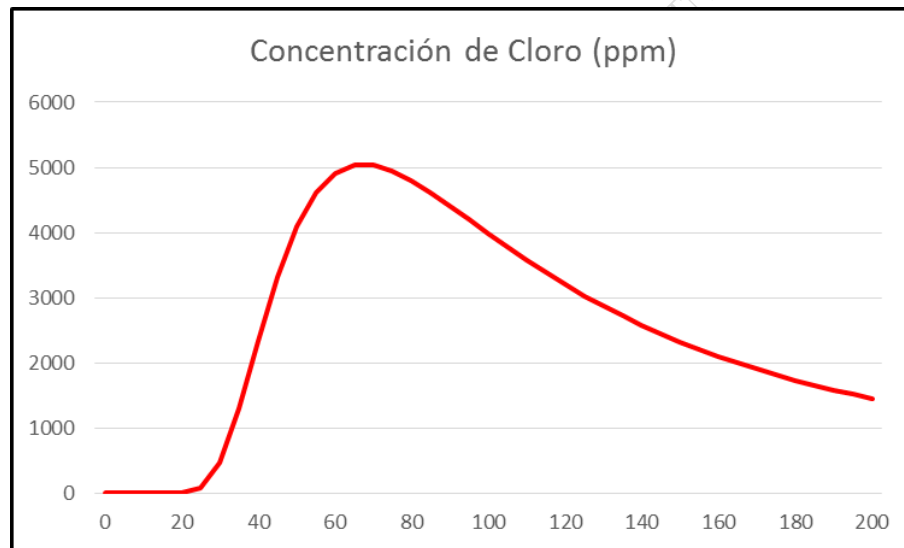
Cloro Rotura Parcial

<b>DESCARGA DE LIQUIDO A TRAVES DE UN AGUJERO</b>	
Tank pressure above liquid:	5 barg
Pressure outside hole:	1 barg
Liquid density:	1562,5 kg/m**3
Liquid level above hole:	1 m
Hole diameter:	10 mm
Excess Head Loss Factors:	
Entrance:	0,5
Exit:	1
Others:	0
TOTAL:	1,5
Calculated Results:	
Hole area:	7,85E-05 m**2
Equation terms:	
Pressure term:	-256 m**2/s**2
Height term:	-9,8 m**2/s**2
Velocity coefficient:	1,25
Exit velocity:	14,6 m/s
Mass flow:	1,79 kg/s

<b>EVAPORACION DE CHARCO</b>			
Peso molecular Cloro :	<b>M</b>	70,9	kg/molkg
Area del charco	<b>A</b>	10	m**2
Presión de vapor de saturación :	<b>psat</b>	5284	mm Hg
Constante universal de los gases:	<b>R</b>	0,082057	atm m3/molkg K
Temperatura ambiente	<b>T</b>	298	K
Coefficiente de transferencia del agua	$k_g^0$	0,0083	m/s
Peso molecular del agua:	<b>Mo</b>	18	kg/molkg
<b>ECUACIONES</b>			
$m_{mass}^* = \frac{M k_g A P^{sat}}{R T_L}$		$T = T_L$	
$k_g = k_g^0 \left( \frac{M_0}{M} \right)^{1/3}$			
<b>RESULTADOS</b>			
Coefficiente de transferencia de masa:	$k_g$	<b>0,00526</b>	m/s
Flujo másico de evaporación:	$m_{mass}^*$	<b>1,05946</b>	kg/s

DISPERSIÓN GAUSSIANA		
Caudal de Descarga:	1790	g/s
Altura de Descarga	1,5	m
Incremento:	5	m
Velocidad del Viento:	5	m/s
Peso Molecular	70,9	
Temperatura:	298	K
Presión:	1	atm.
Concentración Isopleta:	20	ppm
Clase de Estabilidad Asumida: F		

Distancia Downwind (m)	Coeficientes Dispersión		Concentración	Concentración	Concentración	Isopleta		Area (m <sup>2</sup> )
	Sigma z (m)	Sigma y (m)	Downwind Central (g/m <sup>3</sup> )	Downwind Central (mg/m <sup>3</sup> )	Downwind Central (ppm)	Posición Positiva (m)	Posición Negative	
65	1,02	2,59	14,622	14622,1	5042,7	9,1	-9,1	45,7
70	1,10	2,79	14,617	14617,5	5041,1	9,8	-9,8	49,2



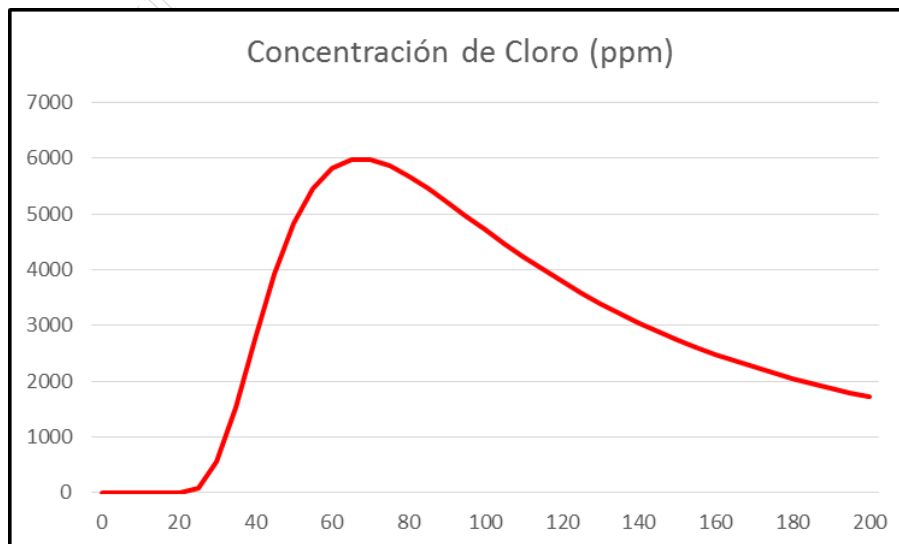
### Cloro Rotura Total

EVAPORACION DE CHARCO			
Peso molecular Cloro :	<b>M</b>	70,9	kg/molkg
Area del charco	<b>A</b>	20	m**2
Presión de vapor de saturación :	<b>psat</b>	5284	mm Hg
Constante universal de los gases:	<b>R</b>	0,082057	atm m3/molkg K
Temperatura ambiente	<b>T</b>	298	K
Coefficiente de transferencia del agua	$k_g^0$	0,0083	m/s
Peso molecular del agua:	<b>Mo</b>	18	kg/molkg

E C U A C I O N E S			
$m_{mass}^* = \frac{M k_g A P^{sat}}{R T_L}$		$T = T_L$	
$k_g = k_g^0 \left( \frac{M_0}{M} \right)^{1/3}$			
R E S U L T A D O S			
Coefficiente de transferencia de masa:	$k_g$	<b>0,00526</b>	m/s
Flujo másico de evaporación:	$m_{mass}^*$	<b>2,11892</b>	kg/s

D I S P E R S I Ó N G A U S S I A N A		
Caudal de Descarga:	2118	g/s
Altura de Descarga	1,5	m
Incremento:	5	m
Velocidad del Viento:	5	m/s
Peso Molecular	70,9	
Temperatura:	298	K
Presión:	1	atm.
Concentración Isopleta:	20	ppm
Clase de Estabilidad Asumida: F		

Distancia Downwind (m)	Coeficientes Dispersión		Concentración Downwind Central (g/m <sup>3</sup> )	Concentración Downwind Central (mg/m <sup>3</sup> )	Concentración Downwind Central (ppm)	Isopleta		Area (m <sup>2</sup> )
	Sigma z (m)	Sigma y (m)	Central	Central	Central	Posición Positiva (m)	Posición Negative (m)	
65	1,02	2,59	17,302	17301,5	5966,7	9,3	-9,3	46,3
70	1,10	2,79	17,296	17296,0	5964,8	10,0	-10,0	49,9



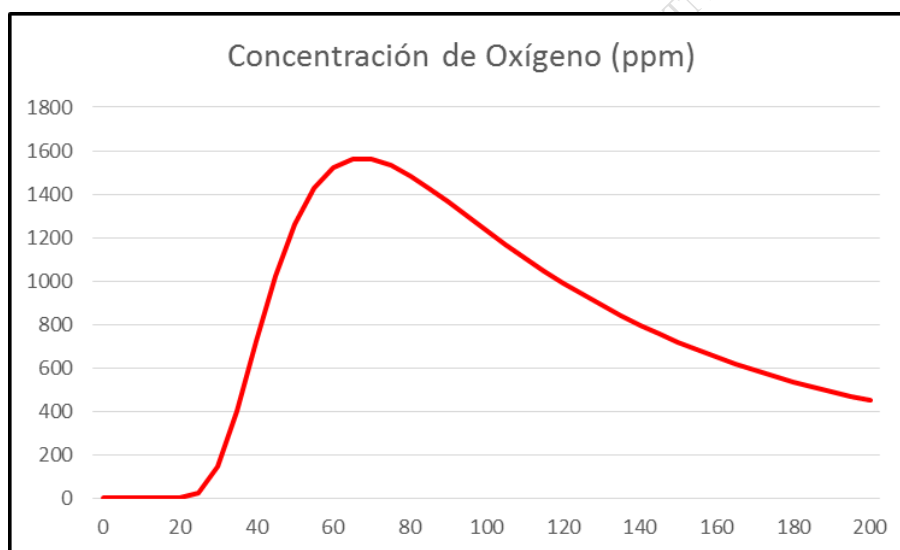
Oxígeno Rotura Parcial

DESCARGA DE LIQUIDO A TRAVES DE UN AGUJERO		
Tank pressure above liquid:		1 barg
Pressure outside hole:		1 barg
Liquid density:		1141 kg/m**3
Liquid level above hole:		1 m
Hole diameter:		10 mm
Excess Head Loss Factors:		
Entrance:	0,5	
Exit:	1	
Others:	0	
TOTAL:	1,5	
Calculated Results:		
Hole area:		7,85E-05 m**2
Equation terms:		
Pressure term:		0 m**2/s**2
Height term:		-9,8 m**2/s**2
Velocity coefficient:		1,25
Exit velocity:		2,8 m/s
Mass flow:		0,25 kg/s

EVAPORACION DE CHARCO			
Peso molecular O2 :	<b>M</b>	32	kg/molkg
Area del charco	<b>A</b>	10	m**2
Presión de vapor de saturación :	<b>psat</b>	37503	mm Hg
Constante universal de los gases:	<b>R</b>	0,082057	atm m3/molkg K
Temperatura ambiente	<b>T</b>	298	K
Coefficiente de transferencia del agua	$k_g^0$	0,0083	m/s
Peso molecular del agua:	<b>Mo</b>	18	kg/molkg
ECUACIONES			
$m_{mass}^* = \frac{M k_g A P^{sat}}{R T_L}$		$T = T_L$	
$k_g = k_g^0 \left( \frac{M_0}{M} \right)^{1/3}$			
RESULTADOS			
Coefficiente de transferencia de masa:	$k_g$	<b>0,00685</b>	m/s
Flujo másico de evaporación:	$m_{mass}^*$	<b>4,42442</b>	kg/s

DISPERSION GAUSSIANA		
Caudal de Descarga:	250	g/s
Altura de Descarga	1,5	m
Incremento:	5	m
Velocidad del Viento:	5	m/s
Peso Molecular	32	
Temperatura:	298	K
Presión:	1	atm.
Concentración Isopleta:	23,5	ppm
Clase de Estabilidad Asumida: F		

Distancia Downwind (m)	Coeficientes Dispersión		Concentración			Isopleta		Area (m <sup>2</sup> )
	Sigma z (m)	Sigma y (m)	Downwind Central (g/m <sup>3</sup> )	Downwind Central (mg/m <sup>3</sup> )	Downwind Central (ppm)	Posición Positiva (m)	Posición Negative	
65	1,02	2,59	2,042	2042,2	1560,4	7,5	-7,5	37,5
70	1,10	2,79	2,042	2041,6	1559,9	8,1	-8,1	40,4



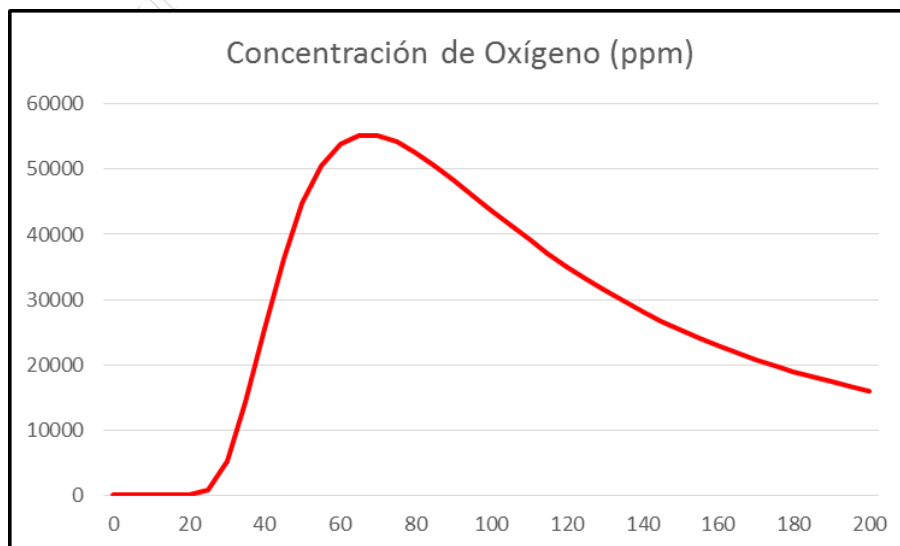
### Oxígeno Rotura Total

EVAPORACION DE CHARCO				
Peso molecular O <sub>2</sub> :	<b>M</b>	32	kg/molkg	
Area del charco	<b>A</b>	20	m**2	
Presión de vapor de saturación :	<b>psat</b>	37503	mm Hg	
Constante universal de los gases:	<b>R</b>	0,082057	atm m3/molkg K	
Temperatura ambiente	<b>T</b>	298	K	
Coefficiente de transferencia del agua	$k_g^0$	0,0083	m/s	
Peso molecular del agua:	<b>Mo</b>	18	kg/molkg	

E C U A C I O N E S			
$m_{mass}^* = \frac{M k_g A P^{sat}}{R T_L}$		$T = T_L$	
$k_g = k_g^0 \left( \frac{M_0}{M} \right)^{1/3}$			
R E S U L T A D O S			
Coefficiente de transferencia de masa:	$k_g$	<b>0,00685</b>	m/s
Flujo másico de evaporación:	$m_{mass}^*$	<b>8,84883</b>	kg/s

D I S P E R S I O N G A U S S I A N A		
Caudal de Descarga:	8848	g/s
Altura de Descarga	1,5	m
Incremento:	5	m
Velocidad del Viento:	5	m/s
Peso Molecular	32	
Temperatura:	298	K
Presión:	1	atm.
Concentración Isopleta:	23,5	ppm
Clase de Estabilidad Asumida: F		

Distancia Downwind (m)	Coeficientes Dispersión		Concentración Downwind Central (g/m <sup>3</sup> )	Concentración Downwind Central (mg/m <sup>3</sup> )	Concentración Downwind Central (ppm)	Isopleta		Area (m <sup>2</sup> )
	Sigma z (m)	Sigma y (m)	Downwind Central (g/m <sup>3</sup> )	Downwind Central (mg/m <sup>3</sup> )	Downwind Central (ppm)	Posición Positiva (m)	Posición Negative (m)	
65	1,02	2,59	72,277	72277,5	55226,5	10,2	-10,2	51,1
70	1,10	2,79	72,255	72254,5	55209,0	11,0	-11,0	55,0





ANEXO VI

Cálculos de Riesgo por Sustancia Química

GLP			1%	100%		ordeno		sumo riesgo
4	1	180	180	1,56E-08	29	1,5593E-06	189	1,7325E-09
	99	29					180	1,5593E-08
5	1	180	180	6,32E-07	29	0,00006324	180	6,324E-07
	99	29					76	1,7325E-07
1	1	9	9	1,75E-09	2	1,75E-07	29	6,4799E-05
	99	2					9	1,75E-09
10	1	189	189	1,73E-09	76	1,7325E-07	29	0,00006324
	99	76					5	9,52E-08
2	1	5	5	9,52E-08	1	0,00000952	5	9,52E-08
	99	1					1	0,00000952

Evento Final	Frecuencia G1	Frecuencia G2	b1	b2	c1	c2	Frecuencia (veces/año)
1 pool fire	1,75E-05	1,38E-04	0,01	0,99	0,1	0,9	1,75E-07
4 UCVE							1,56E-06
10 BLEVE							1,73E-07
13 Dispersión/contaminación					0,9	1,56E-05	
2 pool fire					1	9,52E-06	
5 UCVE	0,07	0,93	0,5	6,32E-05			
14 Dispersión/contaminación				6,32E-05			

Evento Final	Frecuencia G1	b1	b2	c1	c2	Frecuencia (veces/año)
1 pool fire	1,75E-05	0,01	0,99	0,1	0,1	1,75E-07
4 UCVE						1,56E-06
10 BLEVE				1,73E-07		
13 Dispersión/contaminación				0,9	1,56E-05	

Evento Final	Frecuencia G2	b1	b2	c1	c2	Frecuencia (veces/año)
2 pool fire	1,38E-04	0,07	0,93	1	0,5	9,52E-06
5 UCVE						6,32E-05
14 Dispersión/contaminación				0,5	6,32E-05	

Gasolina			1%	100%		ordeno		sumo riesgo
4	1	195	195	3,47E-08	32	3,47E-06	195	3,47E-08
	99	32					195	2,6384E-07
5	1	195	195	2,64E-07	32	2,64E-05	32	0,000003465
	99	32					3	4,08E-08
1	1	5	5	1,75E-09	1	1,75E-07	5	1,75E-09
	99	1					3	4,08E-08
10	1						1	0,000000175
	99							
2	1	3	3	4,08E-08				
	99	-						

Evento Final	Frecuencia G1	Frecuencia G2	b1	b2	c1	c2	Frecuencia (veces/año)
1 pool fire	1,75E-05	1,38E-04	0,01	0,99	0,2	0,8	1,75E-07
4 UCVE							3,47E-06
13 Dispersión/contaminación							0,8
2 pool fire					1	4,08E-06	
5 UCVE					0,03	0,97	0,8
14 Dispersión/contaminación	0,8	1,06E-04					

Evento Final	Frecuencia G2	b1	b2	c1	c2	Frecuencia (veces/año)
2 pool fire	1,38E-04	0,03	0,97	1	0,2	4,08E-06
5 UCVE						2,64E-05
14 Dispersión/contaminación				0,8	1,06E-04	

Evento Final	Frecuencia G1	b1	b2	c1	c2	Frecuencia (veces/año)
1 pool fire	1,75E-05	0,01	0,99	0,2	0,8	1,75E-07
4 UCVE						3,47E-06
13 Dispersión/contaminación				0,8	1,39E-05	

Etiempo	1%	100%	orden				sumo riesgo				
4	155	1,73E-08	25	1,73E-06	155	1,7325E-08	155	6,49725E-07	155	6,497E-07	
	99				155	6,324E-07		25	6,49725E-05	25	6,562E-05
5	155	6,32E-07	25	6,32E-05	25	1,7325E-06	7	1,75E-09	7	6,562E-05	
	99				25	0,00006324	4	9,52E-08	4	6,572E-05	
1	7	1,75E-09	2	1,75E-07	7	1,75E-09	2	0,00000175	2	6,589E-05	
	99				4	9,52E-08	1	0,00000952	1	7,541E-05	
	2				2	1,75E-07					
10	4	9,52E-08	1	0,00000952	1	0,00000952					
	99										
2	1										
	99										
13	26										

Evento Final	Frecuencia	Frecuencia	b1	b2	c1	c2	Frecuencia
1 pool fire	1,75E-05	1,38E-04	0,01	0,99	1	0,1	1,75E-07
4 UCVE							1,73E-06
13 Dispersión/contaminación							1,56E-05
2 pool fire							9,52E-06
5 UCVE	0,07	0,93	0,5	0,5	0,5	6,32E-05	
14 Dispersión/contaminación						6,32E-05	

Evento Final	Frecuencia G2	b1	b2	c1	c2	Frecuencia (veces/año)
2 pool fire	1,38E-04	0,07	0,93	1	0,5	9,52E-06
5 UCVE						6,32E-05
14 Dispersión/contaminación						6,32E-05

Evento Final	Frecuencia G1	b1	b2	c1	c2	Frecuencia (veces/año)
1 pool fire	1,75E-05	0,01	0,99	0,1	0,9	1,75E-07
4 UCVE						1,73E-06
13 Dispersión/contaminación						1,56E-05

Probabilidad de éxito EINT							
Escenario de Riesgo	EF	Evento Final	Frecuencia G1	Frecuencia G2	b2	c2	Frecuencia (veces/año)
Escenario de Riesgo	Rotura Cisterna Cloro	13	Dispersión/contaminación	1,75E-05	0,000136	1	1,75E-05
		14	Dispersión/contaminación	1,75E-05	0,000136	1	1,36E-04

**CALCULO DEL VALOR DE FRECUENCIA PARA CADA EVENTO**

Se multiplica el valor de Frecuencia (G1 o G2 según sea el caso) por el valor de la probabilidad de ocurrencia de cada evento  
Ejemplo: Para el caso de "UCVE" con rotura total:

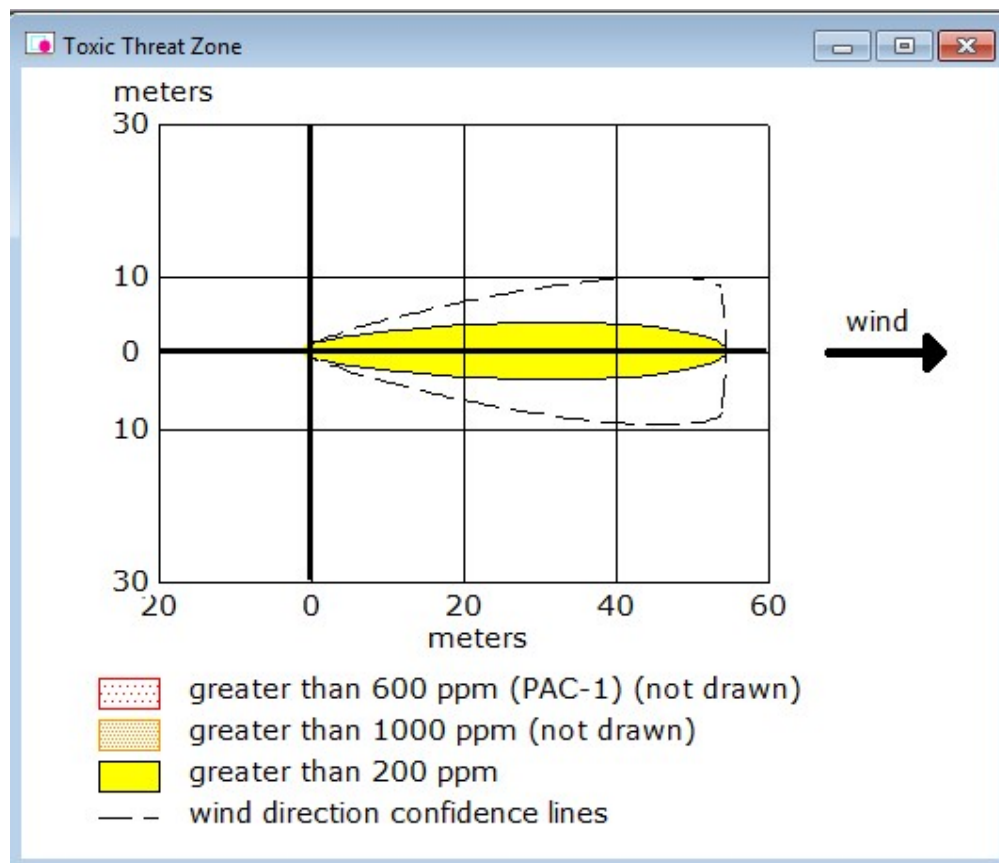
Evento Final	Frecuencia G1	b1	b2	c1	c2	Frecuencia (veces/año)
1 pool fire	1,75E-05	0,01	0,99	0,1	0,9	1,75E-07
4 UCVE						1,56E-06
10 BLEVE						1,73E-07
13 Dispersión/contaminación						1,56E-05

Para calcular el 1% de letalidad se divide el valor obtenido por 100.  
Para calcular el 100% de letalidad se divide el valor obtenido por 1.  
Previamente habíamos determinado los alcances de cada evento, con lo cual, para este caso, a los 180 m. se alcanzaba 1% de letalidad y a los 29 m. el 99%.  
Se realiza el mismo cálculo para los eventos restantes.  
Luego se ordenan los valores obtenidos de acuerdo al alcance en metros.  
Posteriormente se suman los riesgos con mismo alcance. Ej: Los de 180 m. y los de 29 m.  
Finalmente, se suman los riesgos, es decir, a cada distancia se le agrega el valor de riesgo de la distancia alcanzada para menor letalidad

## ANEXO VII

### Resultados de Simulaciones con el Programa ALOHA

#### ETILENO 10 mm (dispersión)



#### SITE DATA:

Location: BAHIA BLANCA, ARGENTINA

Building Air Exchanges Per Hour: 1.06 (unsheltered single storied)

Time: February 1, 2017 0927 hours ST (using computer's clock)

#### CHEMICAL DATA:

Chemical Name: ETHYLENE

CAS Number: 74-85-1                      Molecular Weight: 28.05 g/mol

PAC-1: 600 ppm    PAC-2: 6600 ppm    PAC-3: 40000 ppm

LEL: 27000 ppm    UEL: 360000 ppm

Ambient Boiling Point: -103.7° C

Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm

Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 5 meters/second from nw at 3 meters

Ground Roughness: open country      Cloud Cover: 5 tenths

Air Temperature: 25° C                      Stability Class: D

No Inversion Height                      Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank

Flammable chemical escaping from tank (not burning)

Tank Diameter: 1.95 meters              Tank Length: 8 meters

Tank Volume: 24000 liters

Tank contains liquid                      Internal Temperature: -112° C

Chemical Mass in Tank: 13.1 tons      Tank is 85% full

Circular Opening Diameter: 1 centimeters

Opening is 1.5 meters from tank bottom

Ground Type: Sandy dry soil              Ground Temperature: 15° C

Max Puddle Area: 10 square meters

Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour

Max Average Sustained Release Rate: 2.99 kilograms/min

(averaged over a minute or more)

Total Amount Released: 176 kilograms

Note: The chemical escaped as a liquid and formed an evaporating puddle.

The puddle spread to a diameter of 2.2 meters.

**THREAT ZONE:**

Model Run: Gaussian

Red : 31 meters --- (600 ppm = PAC-1)

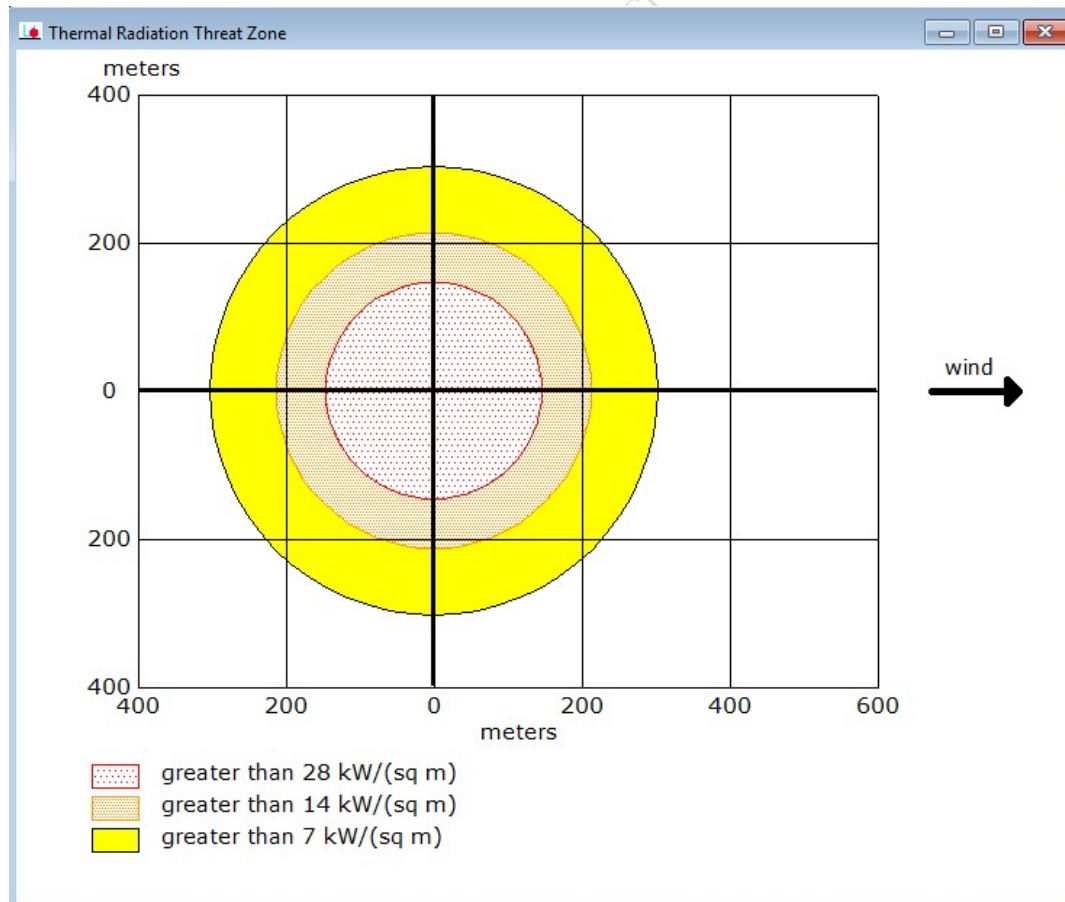
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness  
make dispersion predictions less reliable for short distances.

Orange: 23 meters --- (1000 ppm)

Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness  
make dispersion predictions less reliable for short distances.

Yellow: 55 meters --- (200 ppm)

**GLP TOTAL (BLEVE)**



SITE DATA:

Location: BAHIA BLANCA, ARGENTINA

Building Air Exchanges Per Hour: 0.90 (unsheltered single storied)

Time: May 4, 2017 1349 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: BUTANE

CAS Number: 106-97-8                      Molecular Weight: 58.12 g/mol

AEGL-1 (60 min): 5500 ppm   AEGL-2 (60 min): 17000 ppm   AEGL-3 (60 min): 53000 ppm

LEL: 16000 ppm   UEL: 84000 ppm

Ambient Boiling Point: -0.6° C

Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm

Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 5 meters/second from NW at 10 meters

Ground Roughness: open country      Cloud Cover: 5 tenths

Air Temperature: 25° C                      Stability Class: C

No Inversion Height                      Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

BLEVE of flammable liquid in horizontal cylindrical tank

Tank Diameter: 1.6 meters              Tank Length: 12 meters

Tank Volume: 24,127 liters

Tank contains liquid

Internal Storage Temperature: 25° C

Chemical Mass in Tank: 11,737 kilograms

Tank is 85% full

Percentage of Tank Mass in Fireball: 60%

Fireball Diameter: 111 meters      Burn Duration: 8 seconds

Pool Fire Diameter: 45 meters      Burn Duration: 25 seconds

Flame Length: 67 meters

THREAT ZONE:

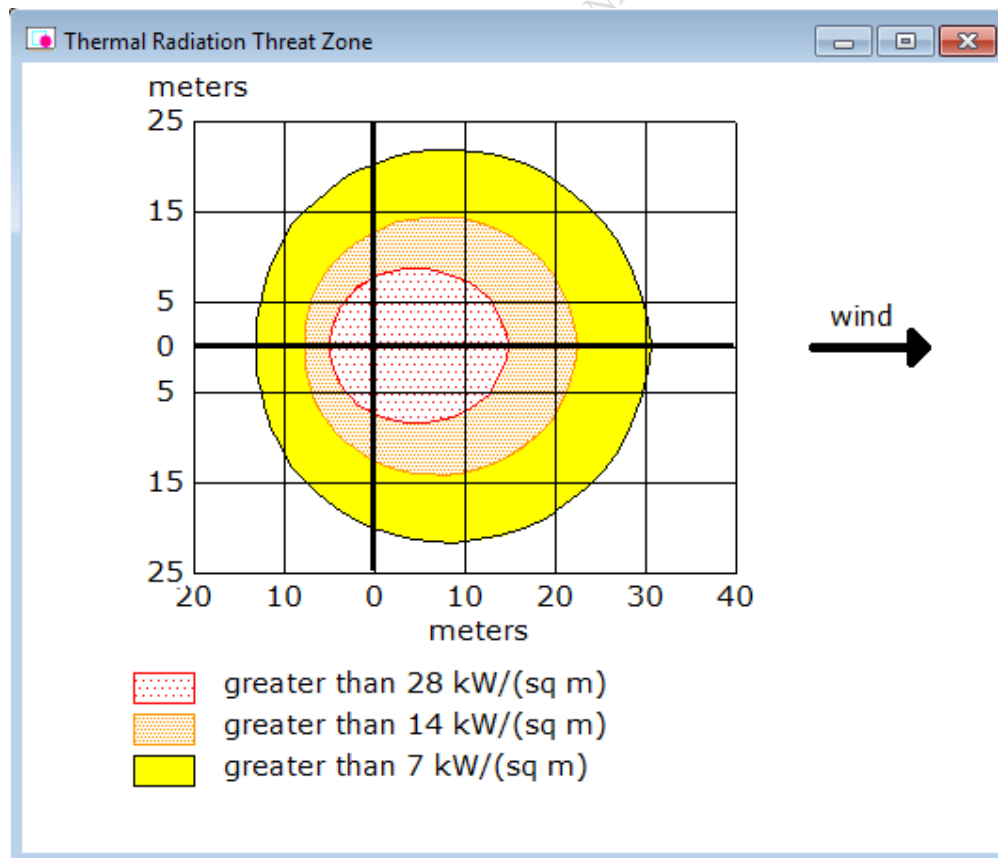
Threat Modeled: Thermal radiation from fireball

Red : 146 meters --- (28 kW/(sq m))

Orange: 213 meters --- (14 kW/(sq m))

Yellow: 303 meters --- (7 kW/(sq m))

GASOLINA 10 mm (radiación)



SITE DATA:

Location: BAHIA BLANCA, ARGENTINA

Building Air Exchanges Per Hour: 0.90 (unsheltered single storied)

Time: March 3, 2017 1622 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: GASOLINA      Molecular Weight: 114.00 g/mol

PAC-1: 120 ppm    PAC-2: 610 ppm    PAC-3: 15000 ppm

IDLH: 1500 ppm    LEL: 13000 ppm    UEL: 80000 ppm

Ambient Boiling Point: 36.0° C

Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.67 atm

Ambient Saturation Concentration: 672,007 ppm or 67.2%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 5 meters/second from nw at 10 meters

Ground Roughness: open country      Cloud Cover: 5 tenths

Air Temperature: 25° C      Stability Class: C

No Inversion Height      Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank

Flammable chemical is burning as it escapes from tank

Tank Diameter: 1.93 meters      Tank Length: 12 meters

Tank Volume: 35000 liters

Tank contains liquid      Internal Temperature: 25° C

Chemical Mass in Tank: 8.37 tons      Tank is 22% full

Circular Opening Diameter: 0.5 meters

Opening is 0.5 meters from tank bottom

Max Flame Length: 20 meters      Burn Duration: 3 minutes

Max Burn Rate: 290 kilograms/min

Total Amount Burned: 506 kilograms

Note: The chemical escaped as a liquid and formed a burning puddle.

The puddle spread to a diameter of 6.1 meters.



**THREAT ZONE:**

Threat Modeled: Thermal radiation from pool fire

Red : 15 meters --- (28 kW/(sq m))

Orange: 23 meters --- (14 kW/(sq m))

Yellow: 31 meters --- (7 kW/(sq m))

**Comparativa Resultados CCPS vs Aloha**

Escenario	Método	Zona de Amenaza		
		Rojo (600 ppm)	Naranja (1000 ppm)	Amarillo (200 ppm)
Dispersión de etileno (10 mm.)	CCPS			55
	Aloha	31	23	55
		Rojo (28 kw/m2)	Naranja (14 kw/m2)	Amarillo (7 kw/m2)
BLEVE GLP (total)	CCPS	76	127	189
	Aloha	146	213	303
Radiación Gasolina (10 mm.)	CCPS		2	3
	Aloha	15	23	31

## ANEXO VIII

### Registros del Transporte de Sustancias Químicas en el Área Industrial y Portuaria de Bahía Blanca

**MUNICIPALIDAD DE BAHIA BLANCA**  
**SECRETARIA DE POLÍTICA URBANO AMBIENTAL**  
**COMITÉ TÉCNICO EJECUTIVO**



**ANÁLISIS DEL TRANSITO DE SUSTANCIAS EN LA ZONA  
DEL POLO PETROQUÍMICO Y AREA PORTUARIA DE ING.  
WHITE**

## ANEXO IX

### Publicaciones Sobre Accidentes con Transportes de Sustancias Químicas



**La Nueva** en este sitio

INICIO SECCIONES MULTIMEDIA BLOGS ESPECIALES SERVICIOS COMUNIDAD EDICIÓN

LA CIUDAD PUNTA ALTA LA REGIÓN EL PAÍS EL MUNDO SEGURIDAD DEPORTES APLAUSOS

## La ciudad.

ENTRE BAHÍA Y TORNQUIST

### Derrame de ácido sulfúrico: informan que la ruta 33 estará cortada hasta la tarde

**25/11/2015 08:14** El accidente ocurrió anoche con el vuelco de un camión.

Vialidad Nacional informó que la ruta 33 seguirá cortada hasta las primeras de la tarde [tras el derrame de ácido sulfúrico ocurrido anoche en el kilómetro 30](#).

El accidente fue cuando volcó un camión que llevaba esa sustancia peligrosa.

El corte es desde el barrio Bosque Alto de Bahía Blanca hasta cercanías de Tornquist.

Vialidad agregó en su comunicado que el desvío de los vehículos se sugiere por la ruta 51 hasta Frapal y de ahí las rutas provinciales 72 y 76 (pasando por Sierra de la Ventana) hasta retomar la nacional 33 en el kilómetro 75.

En el sentido contrario el mismo camino inverso, desde la ruta 33 en el kilómetro 75 –empalme con ruta provincial 76-, ruta provincial 72 hasta la rotonda de Frapal y retomar la provincial 51 hasta Bahía Blanca.



NOTITRANS - ACTUALIDAD | AUTOMOTOR - CORTAN EL TRÁNSITO EN PIGÜÉ POR VUELCO DE UN CAMIÓN CON GAS METANO

## Cortan el tránsito en Pigüé por vuelco de un camión con gas metano

Por Redacción | 14.07.2015 12:36

**Un camión cisterna que transportaba gas metano volcó esta madrugada en la ruta nacional 33 a la altura de Pigüé, cortando el tránsito entre Bahía Blanca y Guaminí, en el sur bonaerense, sin que se produjeran víctimas personales, informaron fuentes policiales y de bomberos.**

Me gusta  Tweet

El episodio ocurrió a la 0.30 cuando un camión Mercedes Benz cargado con gas metano, que circulaba en la dirección Pigüé-Espartillar, volcó a la altura del kilómetro 138.

Fuentes policiales señalaron que "a raíz del accidente el camión quedó a un costado de la banquina, mientras que el tanque cisterna volcó en la ruta, situación por la cual se debió diagramar un operativo de prevención", y agregaron que "A raíz del impacto, tanto el conductor como su acompañante resultaron ilesos".

Por el accidente acudieron al lugar integrantes del cuartel de bomberos voluntarios de Pigüé, personal de Policía de Seguridad Vial y policía Ecológica.

Pasadas las 11, la ruta 33 permanecía cortada, según informó la Dirección Nacional de Vialidad (DNV), ya que se trata de "una carga peligrosa" y especialistas de la policía medioambiental estudian los daños ocasionados.

El tránsito en la zona era desviado desde entonces por la rotonda ubicada en la localidad de Pigüé, en el kilómetro 136. De allí se recomienda tomar la ruta provincial 67 hasta Coronel Suárez, luego por la ruta provincial 85 hasta el cruce con Guaminí, en el kilómetro 198 de la ruta nacional 33.

# La Nueva.

en este sitio

A LA ALTURA DEL DESPEÑADERO

## Volcó un camión con sustancias tóxicas; se restableció el tránsito en la ruta 51

**17/04/2014 23:55** Los 2 ocupantes del vehiculos fueron hospitalizados en Coronel Pringles.

El tránsito en la ruta 51 finalmente fue restablecido cerca de la medianoche tras estar cortada desde anoche debido a que un camión con sustancias peligrosas volcó en el kilómetro 648, a la altura de abra del Despeñadero.

08/02/2012 13:39 Hs.

## Ruta 3 cortada a la altura de Bahía Blanca por vuelco de un camión con metanol

El vehículo transportaba metanol desde Neuquén a Capital Federal y se incendió. La Ruta permanecerá cortada por varias horas. Fue en el kilómetro 720 cerca del cruce con la Ruta Nacional N° 22 que va hacia el Valle de Río Negro. El chofer resultó ileso.



Luego de producirse el vuelco el camión tomó fuego. El chofer pudo escaparse cortando el cinturón de seguridad con un cuchillo gracias a la ayuda de un automovilista que pasaba.

El conductor solamente sufrió algunos golpes y quemaduras en los pies. Fue trasladado al Hospital Penna de Bahía Blanca. Según indican los testigos iba a alta velocidad.

La Ruta Nacional N° 3 permanecerá cortada hasta las 21.00 aproximadamente. La policía mantiene aislado el lugar del accidente a dos kilómetros a la redonda.

### Tweets

Follow

- LaNoticia1.com @lanoticia1 9m  
Marcha atrás con los feriados: Ahora dicen que Macri los mantendrá [dlvr.it/CnL2JK](#)
- LaNoticia1.com @lanoticia1 1h  
Inseguridad en La Plata: Asesinan a una jubilada en su casa de Ringuélet [dlvr.it/CnJFLH](#)
- LaNoticia1.com @lanoticia1 2h  
Diversas actividades para los festejos por los 133 años de La Plata [dlvr.it/CnH2dC](#)
- LaNoticia1.com @lanoticia1 4h  
Tweet to @lanoticia1

**rionegro.com.ar**

Jueves 19 NOV 13 °C

MENU

Club RIO NEGRO

DeBariloche

DeViedma

publicituavisos

## Cerraron la Ruta 3 por vuelco de camión con Metanol



VIEDMA (AV)- El vuelco de un camión con metanol a la salida de Bahía Blanca generó el corte de la ruta nacional N°3 y, por ende, invarios convenientes. Entre ellos el retraso en unas cuatro horas del servicio de colectivo que une Bahía Blanca y Viedma que parte de la ciudad bonaerense a las 19.

Según se supo el camión trasportaba metanol y por razones que se tratan de establecer volcó en inmediaciones de la rotonda que une las rutas tres y 22 y deriva el tránsito hacia Médanos por un lado y Patagones y Viedma por el otro. Al parecer la peligrosidad de la sustancia que trasportaba el camión generó la interrupción del tránsito durante varias horas.



**INFO**  **SEXTA** | Diario digital de la Sexta Sección de la Provincia de Buenos Aires | ADO

11/04/2011-Médanos – Peligro contaminante

## Esta mañana volcó camión con metanol, hay derrame de la sustancia y la ruta está cortada

**Desde Defensa Civil confirmaron el hecho a este medio. Está el tránsito cortado. El suceso se produjo sobre la ruta 3 Sur y el cruce con la rotonda de la 22. Trabajan bomberos y fuerzas vivas.**

Esta mañana volcó camión con metanol en la localidad de Médanos, sobre la ruta 3 Sur y el cruce con la rotonda de la 22. En estos momentos, hay derrame de la sustancia y la ruta está cortada. Desde Defensa Civil confirmaron el hecho, mientras permanece el tránsito cortado.

"Por tratarse de una sustancia altamente venenosa, y al registrarse una fuga de la misma, se cortó el tránsito a todo tipo de vehículos, incluso a nosotros se nos dificulta llegar porque no tenemos los equipos necesarios para tratar con este tipo de elementos", explicaron desde Defensa Civil.

Hasta el momento se sabe que son los bomberos de Médanos quienes trabajan para contener la fuga, mientras se espera la llegada de otro camión que posibilite trasvasar el total de la carga.

Se desconocen los motivos del vuelco, así como también el estado de salud del conductor del rodado.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

## ANEXO X

### Artículos Destacados de la Ley Nacional de Tránsito N° 24449

#### Ley Nacional N° 24.449. Ley de Tránsito.

**ARTICULO 29. — CONDICIONES DE SEGURIDAD.** Los vehículos cumplirán las siguientes exigencias mínimas, respecto de:

a) En general:

1. Sistema de frenado, permanente, seguro y eficaz.
2. Sistema de dirección de iguales características;
3. Sistema de suspensión, que atenúe los efectos de las irregularidades de la vía y contribuya a su adherencia y estabilidad;
4. Sistema de rodamiento con cubiertas neumáticas o de elasticidad equivalente, con las inscripciones reglamentarias;
5. Las cubiertas reconstruidas deben identificarse como tal y se usarán sólo en las posiciones reglamentarias. Las plantas industriales para reconstrucción de neumáticos deben homologarse en la forma que establece el artículo 28 párrafo 4;
6. Estar contruidos conforme la más adecuada técnica de protección de sus ocupantes y sin elementos agresivos externos;
7. Tener su peso, dimensiones y relación potencia-peso adecuados a las normas de circulación que esta ley y su reglamentación establecen;

b) Los vehículos para el servicio de carga y pasajeros, poseer los dispositivos especiales, que la reglamentación exige de acuerdo a los fines de esta ley;

c) Los vehículos que se destinen al servicio de transporte de pasajeros estarán diseñados específicamente para esa función con las mejores condiciones de seguridad de manejo y comodidad del usuario, debiendo contar con:

1. Salidas de emergencia en relación a la cantidad de plazas;
2. El motor en cualquier ubicación, siempre que tenga un adecuado aislamiento termoacústico respecto al habitáculo. En los del servicio urbano el de las unidades nuevas que se habiliten, deberá estar dispuesto en la parte trasera del vehículo;
3. Suspensión neumática en los del servicio urbano o equivalente para el resto de los servicios;
4. Dirección asistida;

5. Los del servicio urbano; caja automática para cambios de marcha;
  6. Aislación termo-acústica ignífuga o que retarde la propagación de llama;
  7. El puesto de conductor diseñado ergonómicamente, con asiento de amortiguación propia;
  8. Las unidades de transporte urbano de pasajeros que se utilicen en ciudades con alta densidad de tránsito, un equipo especial para el cobro de pasajes, o bien dicha tarea debe estar a cargo de una persona distinta de la que conduce;
- d) Las casas rodantes motorizadas cumplirán en lo pertinente con el inciso anterior;
  - e) Los destinados a cargas peligrosas, emergencias o seguridad, deben habilitarse especialmente;
  - f) Los acoplados deben tener un sistema de acople para idéntico itinerario y otro de emergencia con dispositivo que lo detenga si se separa;
  - g) Las casas rodantes remolcadas deben tener el tractor, las dimensiones, pesos, estabilidad y condiciones de seguridad reglamentarias;
  - h) La maquinaria especial tendrá desmontable o plegable sus elementos sobresalientes;
  - i) Las motocicletas deben estar equipadas con casco antes de ser libradas a la circulación;
  - j) Los de los restantes tipos se fabricarán según este título en lo pertinente.
  - k) Las bicicletas estarán equipadas con elementos retrorreflectivos en pedales y ruedas, para facilitar su detección durante la noche.

La Agencia Nacional de Seguridad Vial dispondrá la instalación de doble bolsa de aire para amortiguación de impactos, del sistema antibloqueo de frenos, el dispositivo de alerta acústica de cinturón de seguridad, el encendido automático de luces, un sistema de desgrabación de registros de operaciones del vehículo ante siniestros para su investigación, entre otros que determine la reglamentación. *(Último párrafo incorporado por art. 29 de la [Ley N° 26.363](#) B.O. 30/4/2008. Vigencia: a partir de su publicación en el Boletín Oficial)*

**ARTICULO 50.** — VELOCIDAD PRECAUTORIA. El conductor debe circular siempre a una velocidad tal que, teniendo en cuenta su salud, el estado del vehículo y su carga, la visibilidad existente, las condiciones de la vía y el tiempo y densidad del tránsito, tenga siempre el total dominio de su vehículo y no entorpezca la circulación. De no ser así deberá abandonar la vía o detener la marcha.

*(Último párrafo vetado por art. 9° del [Decreto N° 179/1995](#) B.O. 10/02/1995)*

**ARTICULO 51.** — VELOCIDAD MAXIMA. Los límites máximos de velocidad son:

- a) En zona urbana:



1. En calles: 40 km/h;
  2. En avenidas: 60 km/h;
  3. En vías con semaforización coordinada y sólo para motocicletas y automóviles: la velocidad de coordinación de los semáforos;
- b) En zona rural:
1. Para motocicletas, automóviles y camionetas: 110 km/h;
  2. Para microbús, ómnibus y casas rodantes motorizadas: 90 km/h;
  3. Para camiones y automotores con casa rodante acoplada: 80 km/h;
  4. Para transportes de sustancias peligrosas: 80 km/h;
- c) En semiautopistas: los mismos límites que en zona rural para los distintos tipos de vehículos, salvo el de 120 km/h para motocicletas y automóviles;
- d) En autopistas: los mismos del inciso b), salvo para motocicletas y automóviles que podrán llegar hasta 130 km/h y los del punto 2 que tendrán el máximo de 100 km/h;
- e) Límites máximos especiales:
1. En las encrucijadas urbanas sin semáforo: la velocidad precautoria, nunca superior a 30 km/h;
  2. En los pasos a nivel sin barrera ni semáforos: la velocidad precautoria no superior a 20 km/h y después de asegurarse el conductor que no viene un tren;
  3. En proximidad de establecimientos escolares, deportivos y de gran afluencia de personas: velocidad precautoria no mayor a 20 km/h, durante su funcionamiento;
  4. En rutas que atraviesen zonas urbanas, 60 km/h, salvo señalización en contrario.

### CAPITULO III

#### Reglas para vehículos de transporte

**ARTICULO 53. — EXIGENCIAS COMUNES.** Los propietarios de vehículos del servicio de transporte de pasajeros y carga, deben tener organizado el mismo de modo que:

- a) Los vehículos circulen en condiciones adecuadas de seguridad, siendo responsables de su cumplimiento, no obstante la obligación que pueda tener el conductor de comunicarles las anomalías que detecte;
- b) No deban utilizar unidades con mayor antigüedad que la siguiente, salvo que se ajusten a las limitaciones de uso, tipo y cantidad de carga, velocidad y otras que se les fije en el reglamento y en la revisión técnica periódica:
  1. De diez años para los de sustancias peligrosas y pasajeros;

2. De veinte años para los de carga.

La autoridad competente del transporte puede establecer términos menores en función de la calidad de servicio que requiera;

c) Sin perjuicio de un diseño armónico con los fines de esta ley, excepto aquellos a que se refiere el artículo 56 en su inciso e), los vehículos y su carga no deben superar las siguientes dimensiones máximas:

1. ANCHO: dos metros con sesenta centímetros.

2. ALTO: cuatro metros con diez centímetros.

3. LARGO:

3.1. Camión simple: 13 mts. con 20 cmts.;

3.2. Camión con acoplado: 20 mts.;

3.3. Camión y ómnibus articulado: 18 mts.;

3.4. Unidad tractora con semirremolque (articulado) y acoplado: 20 mts. con 50 cmts.;

3.5. Omnibus: 14 mts. En urbanos el límite puede ser menor en función de la tradición normativa y características de la zona a la que están afectados;

d) Los vehículos y su carga no transmitan a la calzada un peso mayor al indicado en los siguientes casos:

1. Por eje simple:

1.1. Con ruedas individuales: 6 toneladas;

1.2. Con rodado doble: 10,5 toneladas;

2. Por conjunto (tándem) doble de ejes:

2.1. Con ruedas individuales: 10 toneladas;

2.2. Ambos con rodado doble: 18 toneladas;

3. Por conjunto (tándem) triple de ejes con rodado doble: 25,5 toneladas;

4. En total para una formación normal de vehículos: 45 toneladas;

5. Para camión acoplado o acoplado considerados individualmente: 30 toneladas.

La reglamentación define los límites intermedios de diversas combinaciones de ruedas, las dimensiones del tándem, las tolerancias, el uso de ruedas superanchas, las excepciones y restricciones para los vehículos especiales de transporte de otros vehículos sobre sí.

- e) La relación entre la potencia efectiva al freno y el peso total de arrastre sea desde la vigencia de esta ley, igual o superior a 3,25 CV DIN (caballo vapor DIN) por tonelada de peso. En el lapso de tiempo no superior a cinco años, la relación potencia-peso deberá ser igual o superior al valor 4,25 CV DIN (caballo vapor DIN) por tonelada de peso;
- f) Obtengan la habilitación técnica de cada unidad, cuyo comprobante será requerido para cualquier trámite relativo al servicio o al vehículo;
- g) Los vehículos, excepto los de transporte urbano de carga y pasajeros, estén equipados a efectos del control, para prevención e investigación de accidentes y de otros fines, con un dispositivo inviolable y de fácil lectura que permita conocer la velocidad, distancia, tiempo y otras variables sobre su comportamiento, permitiendo su control en cualquier lugar donde se halle al vehículo;
- h) Los vehículos lleven en la parte trasera, sobre un círculo reflectivo la cifra indicativa de la velocidad máxima que le está permitido desarrollar;
- i) Los no videntes y demás discapacitados gocen en el servicio de transporte del beneficio de poder trasladarse con el animal guía o aparato de asistencia de que se valgan;
- j) En el servicio de transporte de pasajeros por carretera se brindarán al usuario las instrucciones necesarias para casos de siniestro;
- k) Cuenten con el permiso, concesión, habilitación o inscripción del servicio, de parte de la autoridad de transporte correspondiente. Esta obligación comprende a todo automotor que no sea de uso particular exclusivo.

Queda expresamente prohibido en todo el territorio nacional la circulación en tráfico de jurisdicción nacional de vehículos de transporte por automotor colectivo de pasajeros que no hayan cumplido con los requisitos establecidos por la autoridad nacional competente en materia de transporte y en los acuerdos internacionales bilaterales y multilaterales vigentes relativos al transporte automotor.

Cuando se verificase la circulación de un vehículo en infracción a lo señalado en los párrafos anteriores se dispondrá la paralización del servicio y la retención del vehículo utilizado hasta subsanarse las irregularidades comprobadas, sin perjuicio de que la autoridad nacional de transporte, prosiga la sustanciación de las actuaciones pertinentes en orden a la aplicación de las sanciones que correspondan.

El Poder Ejecutivo nacional dispondrá las medidas que resulten pertinentes a fin de coordinar el accionar de los organismos de seguridad de las distintas jurisdicciones a los efectos de posibilitar el cumplimiento de lo precedentemente establecido.

**ARTICULO 56.** — TRANSPORTE DE CARGA. Los propietarios de vehículos de carga dedicados al servicio de transporte, sean particulares o empresas, conductores o no, deben:

- a) Estar inscriptos en el registro de transportes de carga correspondiente;
- b) Inscribir en sus vehículos la identificación y domicilio, la tara, el peso máximo de arrastre (P.M.A.) y el tipo de los mismos, con las excepciones reglamentarias;

- c) Proporcionar a sus choferes la pertinente carta de porte en los tipos de viaje y forma que fija la reglamentación;
- d) Proveer la pertinente cédula de acreditación para tripular cualquiera de sus unidades, en los casos y forma reglamentada;
- e) Transportar la carga excepcional e indivisible en vehículos especiales y con la portación del permiso otorgado por el ente vial competente previsto en el artículo 57;
- f) Transportar el ganado mayor, los líquidos y la carga a granel en vehículos que cuenten con la compartimentación reglamentaria;
- g) Colocar los contenedores normalizados en vehículos adaptados con los dispositivos de sujeción que cumplan las condiciones de seguridad reglamentarias y la debida señalización perimetral con elementos retroreflectivos;
- h) Cuando transporten sustancias peligrosas: estar provistos de los elementos distintivos y de seguridad reglamentarios, ser conducidos y tripulados por personal con capacitación especializada en el tipo de carga que llevan y ajustarse en lo pertinente a las disposiciones de la ley 24.051.

**ARTICULO 66.** — INVESTIGACION ACCIDENTOLOGICA. Los accidentes del tránsito serán estudiados y analizados a los fines estadísticos y para establecer su causalidad y obtener conclusiones que permitan aconsejar medidas para su prevención. Los datos son de carácter reservado.

Decreto Reglamentario N° 779/95. Apruébese la reglamentación de la Ley N°

24.449.

## ANEXO S

### REGLAMENTO GENERAL PARA EL TRANSPORTE DE MERCANCIAS PELIGROSAS POR CARRETERA.

#### CAPITULO I.

##### DISPOSICIONES GENERALES.

ARTICULO 5°.- El transporte de las mercancías peligrosas se regirá por las disposiciones del presente Reglamento General y por la reglamentación específica vigente dispuesta por los organismos designados Autoridad de Aplicación de leyes o normas relativas a determinadas mercancías peligrosas, tales como la DIRECCION GENERAL DE FABRICACIONES MILITARES, la SUBSECRETARIA DE COMBUSTIBLES, la COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA, la SECRETARIA DE RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE HUMANO, etcétera.

#### CAPITULO II.

##### DE LAS CONDICIONES DEL TRANSPORTE.

#### SECCION I.

## DE LOS VEHICULOS Y LOS EQUIPAMIENTOS.

ARTICULO 9°.- El transporte de mercancías peligrosas solo puede ser realizado por vehículos y equipamientos (como por ejemplo cisternas y contenedores) cuyas características técnicas y estado de conservación garanticen seguridad compatible con los riesgos correspondientes a las mercancías transportadas.

1.- Los vehículos y equipamientos especializados para el transporte de mercancías peligrosas a granel deben ser fabricados de acuerdo con las normas y reglamentos técnicos vigentes. En la inexistencia de estos, con una norma técnica reconocida internacionalmente y aceptada por la autoridad competente.

2.- Cada Autoridad de Aplicación indicará el organismo responsable para certificar directamente a través de una entidad por el designada, la adecuación de los vehículos y equipamientos al transporte de mercancías peligrosas a granel, así como para expedir el correspondiente certificado de habilitación.

3.- Los vehículos y equipamientos que trata este artículo, serán inspeccionados con la periodicidad establecida por la norma técnica respectiva, por el organismo competente o la entidad por el designada.

4.- En caso de accidente, avería o modificación estructural, los vehículos y equipamientos referidos, deben ser inspeccionados y ensayados por el organismo competente o por la entidad por él designada, antes de su retorno a la actividad.

5.- Luego de cada inspección será expedido un nuevo certificado de habilitación.

## SECCION III.

### DEL ITINERARIO Y DEL ESTACIONAMIENTO.

ARTICULO 24.- El transportista deberá programar el itinerario del vehículo que transporte mercancías peligrosas de forma tal de evitar, si existe alternativa, el uso de vías en áreas densamente pobladas o de protección de embalses, reservas de agua o reservas forestales y ecológicas, o sus proximidades, así como el uso de aquellas de gran afluencia de personas y vehículos en los horarios de mayor intensificación de tránsito.

ARTICULO 25.- Las autoridades con jurisdicción sobre las vías pueden determinar restricciones al tránsito de vehículos que transporten mercancías peligrosas, a lo largo de toda su extensión o parte de ella, señalizando los tramos con restricción y asegurando un itinerario alternativo que no presente mayor riesgo, así como establecer lugares y períodos con restricciones para estacionamiento, parada, carga y descarga.

En caso en que el itinerario previsto exija ineludiblemente el uso de una vía con restricción de circulación, el transportador justificará dicha situación ante la autoridad con jurisdicción sobre la misma, quien podrá establecer requisitos aplicables a la realización del viaje.

ARTICULO 26.- El vehículo que transporta mercancías peligrosas solamente podrá estacionar, para descanso o pernocte de la tripulación, en áreas previamente determinadas por las autoridades competentes y, en caso de inexistencia de las mismas, deberá evitar el estacionamiento en zonas residenciales. Lugares públicos o lugares de fácil acceso al público, áreas densamente pobladas o de gran concentración de personas o vehículos.

1.- Cuando, por motivos de emergencia, parada técnica, falla mecánica o accidente, el vehículo se detenga en un lugar no autorizado, debe permanecer señalizado y bajo vigilancia de su conductor o de las autoridades locales, salvo que su ausencia fuese imprescindible para la comunicación del hecho, pedido de socorro o atención médica.

2.- Solamente en caso de emergencia el vehículo puede estacionar o detenerse en las banquinas o bermas de las carreteras.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL UTN-FRBB