

ESTUDIO DE RIESGO AMBIENTAL

“DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL COMPRIMIDO POR MEDIO DE SEMIRREMOLQUES”

**PROPIEDAD DE
3EGASV S. de R.L. de C.V.**

UBICADA EN:

**Libramiento Oriente #5535, colonia Santa Bárbara, C.P. 60180,
Uruapan, Michoacán**



CONTENIDO

GENERALIDADES	1
I. ESCENARIOS Y MEDIDAS PREVENTIVAS RESULTANTES DEL ANÁLISIS DE LOS RIESGOS AMBIENTALES RELACIONADOS CON EL PROYECTO	2
I.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	2
I.1.1. Infraestructura	2
I.1.2. Ubicación geográfica del Proyecto	3
I.1.2.1. Domicilio	3
I.1.2.2. Localidad en la que se ubicará el Proyecto	3
I.1.2.3. Mapa de localización del proyecto	4
I.1.2.4. Coordenadas geográficas del proyecto	4
I.1.2.5. Colindancias del Proyecto	5
I.1.2.6. Dimensiones del proyecto	6
I.1.2.7. Vías de acceso	8
I.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	9
I.2.1. Componentes del sistema de expendio.	11
i. Compresor tipo booster	11
ii. Sistema de Almacenamiento	11
iii. Procesos y operación del sistema de expendio.	12
• Proceso de purga	12
• Operación del sistema	12
iv. Selección del sitio y obra civil requerida	12
v. Capacidad total del sistema	12
I.2.2. Especificaciones técnicas del sistema	12
I.2.3. Medición electrónica de flujo	12
I.2.4. Válvula de venteo	13
I.2.5. Surtidor de GNC	13
I.2.6. Medidor másico marca Emerson	14
I.2.7. Suministro de energía	14
I.2.8. Compresor de gas natural	15
I.2.9. Procedimiento para el suministro de gas natural a vehículos	17
I.2.10. Suministro de GNC a MRU	18
I.2.11. Sustancias manejadas en el proceso	18
I.2.12. Condiciones de operación de la Estación de Servicio (EDS)	20
I.3. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO	23
I.3.1. Clima	23
I.3.2. Temperatura	24
I.3.3. Precipitaciones	25
I.3.4. Fisiografía.	26
I.3.5. Geología	27
I.3.6. Geomorfología	29
I.3.7. Susceptibilidad Sísmica	30
I.3.8. Presencia de fallas o fracturas.	30

I.3.9. Edafología	31
I.3.10. Hidrología superficial y subterránea.	32
I.3.10.1. Hidrología Superficial	32
I.3.10.2. Hidrología subterránea	33
I.3.11. Flora y fauna	34
I.3.12. Áreas naturales protegidas	35
I.4. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS	37
I.4.1. Histórico de accidentes e incidentes en instalaciones similares	37
I.4.2. Identificación de peligros y de escenarios de riesgo	41
I.4.2.1. Justificación técnica de la metodología de riesgos empleada	41
I.4.2.2. Selección de técnica de identificación de riesgos	42
I.4.2.2.1. Metodología ¿Qué pasa sí?	43
I.4.3. Desarrollo y resultados de la o las metodologías de riesgos	45
I.4.4. Evaluación y jerarquización de escenarios de riesgo	46
I.4.4.1. Matriz de jerarquización de riesgos	46
I.4.4.2. Identificación de escenarios más probables y peor caso	48
I.4.4.2.1. Potenciales escenarios de riesgos identificados.	49
II. DETERMINACIÓN DE RADIOS POTENCIALES DE AFECTACIÓN	51
II.1. POTENCIALES ESCENARIOS DE RIESGOS IDENTIFICADOS Y SUS EFECTOS	52
II.1.1. Radiación térmica	52
II.1.1.1. Flash fire (Flamazo)	52
II.1.1.2. Jet fire (Incendio de antorcha o chorro de fuego)	52
II.1.1.3. Fireball (Bola de Fuego)	52
II.1.2. Sobrepresión	53
II.1.2.1. Explosión de nube de gas no confinada (UVCE) y confinada (VCE).	53
II.1.2.2. BLEVE (Boiling liquid expanding vapor explosión (explosión del vapor en expansión de un líquido hirviendo))	54
1. Líquido sobrecalentado y bajo presión.	55
2. Súbita baja de presión.	55
3. Nucleación espontánea.	56
II.2. ANÁLISIS DETALLADO DE CONSECUENCIAS	56
II.2.1. Criterios para determinar la duración de una fuga	56
II.2.2. Criterios de tiempos de duración de las fugas	57
II.2.3. Determinación de los orificios equivalentes de fuga	57
II.2.4. Condiciones atmosféricas	59
Estabilidad Atmosférica	59
II.2.5. Zonas de afectación por los modelos a emplear.	60
● Nube de gas:	60
● Radiación térmica (Incendio):	60
● Sobrepresión (Explosión):	60
II.2.6. Resultados de la modelación de eventos	60
II.2.6.1. Método de radiación térmica	60
II.2.6.3. Método de nubes explosivas.	69
III. INTERACCIONES DE RIESGOS AL INTERIOR Y AL EXTERIOR DE LA INSTALACIÓN	71
III.1. Sitios de interés cercanos al proyecto MRU “Uruapan”	71
III.2. Análisis de interacciones de riesgo	74

III.3.	Efectos sobre el sistema ambiental	75
IV.	SISTEMAS DE SEGURIDAD Y MEDIDAS PARA ADMINISTRAR LOS ESCENARIOS DE RIESGO	76
IV.1.	Sistemas de seguridad	76
IV.1.1.	Sistema contra incendio	76
IV.2.	Medidas Preventivas	76
•	Señales, señalización de seguridad e higiene y rotulaciones.	76
•	Sistema de CCTV.	76
V.	RECOMENDACIONES DERIVADAS DEL ANÁLISIS DE RIESGO	77
VI.	CONCLUSIONES	79

Anexo A	Documentos legales
	A.1 Empresa
	A.2. Responsable de elaboración del Estudio de Riesgo
Anexo B	Planos y Memoria Descriptiva
Anexo C	Informe de inspección de la CNG Klois
Anexo D	Hojas de trabajo ¿Qué pasa sí...?
Anexo E	Simulación de consecuencias
Anexo F	Radios de afectación

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Localidad en la que se ubicará el proyecto	3
Tabla 2. Coordenadas del predio	4
Tabla 3. Usos y Áreas del predio del proyecto.	7
Tabla 4. Especificaciones técnicas del almacenamiento de GNC.....	11
Tabla 5. Especificaciones técnicas del Surtidor de GNC	13
Tabla 6. Parámetros del equipo de compresión	15
Tabla 7. Elementos del compresor hidráulico.....	17
Tabla 8. Identidad Química del Gas Natural	18
Tabla 9. Identificación de Peligros.....	18
Tabla 10. Clasificación de riesgo de la NFPA Gas natural	19
Tabla 11. Propiedades del Gas natural	19
Tabla 12. Clasificación del etil-mercaptano de acuerdo con el sistema globalmente	20
Tabla 13. Clasificación de riesgo del Etil-mercaptano según la NFPA.....	20
Tabla 14. Condiciones de Operación de la Estación de Compresión.....	21
Tabla 15. Condiciones Operativas de los dispensadores.....	21
Tabla 16. Características de la instrumentación y control.....	21
Tabla 17. Datos de temperatura mensual registrada en la estación “Uruapan”.	24
Tabla 18. Datos de precipitación registrada en la estación “Uruapan”.	25
Tabla 19. Sismos reportados del 1900-01-01 al 2020-01-01, buscando a partir de todas las magnitudes, todas las profundidades, en Uruapan, Michoacán	30
Tabla 20. Edafología de Uruapan.....	31
Tabla 21. Hidrología del Municipio de Uruapan. (Prontuario de Información Geográfica Municipal)	33
Tabla 22. Detalle de accidente en una estación de llenado de contenedores	37
Tabla 23. Antecedentes de accidentes e incidentes involucrados con el uso del gas natural	38
Tabla 24. Identificación de riesgos asociados a sustancias y materiales peligrosos	41
Tabla 25. Identificación de riesgos asociados al proceso	41
Tabla 26. Identificación de riesgos por manejo de sustancias peligrosas	42
Tabla 27. Típico de las metodologías de acuerdo a la etapa del Proyecto	43
Tabla 28. Criterios de índice de frecuencia	46
Tabla 29. Criterios para asignar los índices de severidad	47
Tabla 30. Categoría de Riesgo y descripción de la peligrosidad	48
Tabla 31. Escenarios de riesgo considerados para simulación de consecuencias para el Proyecto.....	50
Tabla 32. Efectos de la Radiación Térmica de acuerdo a la intensidad de energía	52
Tabla 33. Vulnerabilidad de Materiales.....	53
Tabla 34. Efectos derivados de la sobrepresión	54
Tabla 35. Criterios para Asignar Tiempos de Duración de las Fugas.....	57
Tabla 36. Criterios para utilizar el diámetro equivalente de fuga.	58
Tabla 37. Estabilidad atmosférica.....	59
Tabla 38. Escenario 1 Incendio por fuga en los Cilindros de almacenamiento, no mayor a 2 kg.....	60
Tabla 39. Escenario 2 Incendio por fuga en tubería de entrada al compresor, no mayor a 1 kg.....	63
Tabla 40. Escenario 3 Incendio en Dispensadores por ruptura de manguera de los dispensarios de GNV, no mayor a 1 kg.....	65
Tabla 41. Escenario 4 el evento catastrófico mayor.....	67
Tabla 42. Sitios de interés y grado de vulnerabilidad.....	72
Tabla 43. Matriz de interacciones entre los escenarios de riesgo y los puntos de interés identificados con respecto de los escenarios de riesgo identificados	74
Tabla 44. Sistemas, equipos, accesorios de seguridad de los Escenarios de riesgo considerados para simulación de consecuencias del Proyecto	76
Tabla 45. Recomendaciones de la aplicación de metodologías de riesgos para el Proyecto “DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL COMPRIMIDO POR MEDIO DE SEMIRREMOLQUES”	77

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Esquema típico de Unidad Móvil de Almacenamiento (MRU).....	3
Figura 2. Ubicación del Proyecto “DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL COMPRIMIDO POR MEDIO DE SEMIRREMOLQUES”.	4
Figura 3. Layout de la MRU Uruapan	5
Figura 4. Colindancias del Proyecto	6
Figura 5. Planta Arquitectónica del Proyecto.....	7
Figura 6. Vías de acceso al Proyecto.	8
Figura 7. Diagrama del sistema móvil de abastecimiento de gas natural vehicular	9
Figura 8. Equipos y características de la MRU URUAPAN.....	11
Figura 9. Diagrama del sistema general.....	15
Figura 10. Vista lateral del equipo.	16
Figura 11. Diagrama del compresor hidráulico	16
Figura 12. Pictogramas de identificación de peligros	18
Figura 13. Plano de señalética del Proyecto	22
Figura 14. Tipo de Clima en el Área del Proyecto. SIGEIA.....	24
Figura 15. Gráfica de Datos de temperaturas en la Estación Uruapan durante el periodo 1981-2010.....	25
Figura 16. Gráfica de Datos de precipitación en la Estación Uruapan durante el periodo 1981-2010.....	26
Figura 17. Fisiografía en el área del Proyecto.	27
Figura 18. Geología en área del Proyecto.	28
Figura 19. Geomorfología en área del Proyecto. Atlas de Riesgo.....	29
Figura 20. Falla geológica próxima al predio del Proyecto.	30
Figura 21. Edafología en el área del Proyecto. SIGEIA.....	32
Figura 22. Microcuenca Caltzontzin donde incide el área del proyecto. SIGEIA.	33
Figura 23. Acuífero Uruapan donde incide el área del proyecto MRU Uruapan. SIGEIA.....	34
Figura 24. Zona Urbana donde se ubica el área del proyecto. SIGEIA.	35
Figura 25. Ubicación del Proyecto con respecto al ANP Barranca del Cupatitzio.	36
Figura 26. Diagrama de flujo para aplicación de Metodología ¿Qué pasa sí?	44
Figura 27. Diagrama general del equipo SRISEN ENERGY CNG KLOIS.	45
Figura 28. Matriz de riesgos	47
Figura 29. Distribución de escenarios de riesgos ¿Qué pasa sí...?	48
Figura 30. Gráfica de Radios de Afectación por Radiación Térmica para el Escenario 1 Incendio por fuga en los Cilindros de almacenamiento, no mayor a 2 kg. Más probable, menos catastrófico.	61
Figura 31. Radios de Afectación por Radiación Térmica para el Escenario 1 Incendio por fuga en los Cilindros de almacenamiento, no mayor a 2 kg.	62
Figura 32. Gráfica de Radios de Afectación por Radiación Térmica para el Escenario 2	63
Figura 33. Radios de Afectación por Radiación Térmica para el Escenario 2. Incendio por fuga en tubería de entrada al compresor, no mayor a 1 kg.	64
Figura 34. Gráfica de Radios de Afectación por Radiación Térmica para el Escenario 3	65
Figura 35. Radios de Afectación para el Escenario 3 Incendio en Dispensadores por ruptura de manguera de los dispensarios de GNV, no mayor a 1 kg.	66
Figura 36. Gráfica de Radios de Afectación por sobrepresión para el Escenario 4 el evento catastrófico mayor que puede presentarse es un BLEVE es decir una explosión en el almacenamiento de la MRU en los 2 cilindros con la capacidad al 90%. Menos probable, más catastrófico.	67
Figura 37. Radios de Afectación por sobrepresión para el Escenario 4 el evento catastrófico mayor que puede presentarse es un BLEVE es decir una explosión en el almacenamiento de la MRU en los 2 cilindros con la capacidad al 90%. Menos probable, más catastrófico.	68
Figura 38. Gráfica de Radios por sobrepresión de nubes explosivas (F.E.E.= 0.2)	69
Figura 39. Radios por sobrepresión de nubes explosivas (F.E.E.= 0.2).....	70
Figura 40. Radio a 500 m del Proyecto	72

GENERALIDADES

El Estudio de Riesgo en su Modalidad Análisis de Riesgo para actividades del Sector Hidrocarburos del Proyecto **DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL COMPRIMIDO POR MEDIO DE SEMIRREMOLQUES** ubicado en la ciudad de Uruapan, Michoacán, promovido por la empresa **3EGASV S. de R.L. de C.V.**

La Ley General del Equilibrio Ecológico señala que se considera una actividad altamente riesgosa cuando maneja cantidades iguales o superiores de una o más sustancias señaladas en el Primer y/o Segundo Listados de Actividades Altamente Riesgosas, publicados en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 28 de marzo de 1990 y 4 de mayo de 1992 respectivamente. En el caso de que la misma sustancia se encuentre indicada en ambos Listados, se considerará la cantidad menor.

En el Proyecto **DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL COMPRIMIDO POR MEDIO DE SEMIRREMOLQUES** la sustancia a manejar es: Gas Natural Vehicular. El manejo y distribución de gas natural se considera una actividad de alto riesgo, de acuerdo con lo señalado en el Segundo Listado de Actividades Altamente Riesgosas (Diario Oficial de la Federación del 4 de mayo de 1992), cuya cantidad de reporte es de 500 kilogramos.

Por lo anteriormente expuesto y con fundamento en el Artículo 18. del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental, se presentan el presente Estudio de Riesgo Ambiental incluyendo:

- I. Escenarios y medidas preventivas resultantes del análisis de los riesgos ambientales relacionados con el proyecto;
- II. Descripción de las zonas de protección en torno a las instalaciones, en su caso, y
- III. Señalamiento de las medidas de seguridad en materia ambiental.

Asimismo, se toman en consideración y de manera orientativa la Guía para la Elaboración del Análisis de Riesgo para el Sector Hidrocarburos de la Agencia de Seguridad Energía y Ambiente.

I. ESCENARIOS Y MEDIDAS PREVENTIVAS RESULTANTES DEL ANÁLISIS DE LOS RIESGOS AMBIENTALES RELACIONADOS CON EL PROYECTO

I.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El Proyecto “DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL COMPRIMIDO POR MEDIO DE SEMIRREMOLQUES” consiste en la instalación de un patio de maniobras, operación y mantenimiento de la Unidad Móvil de Abastecimiento (MRU, por sus siglas en inglés “Mobile-Refueling Unit”), propiedad de la empresa 3EGASV S. de R.L. de C.V., para la distribución de Gas Natural Vehicular en general de la ciudad de Uruapan, Michoacán.

El Proyecto “DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL COMPRIMIDO POR MEDIO DE SEMIRREMOLQUES” en una superficie de 2,244.875 m² mediante el contrato de arrendamiento celebrado por la Sra. Ma. de los Ángeles Vargas Ayala, como arrendadora y 3EGASV S. de R.L. de C.V a través de Yaneth García Ramírez, como arrendatario, y por otra parte, Drako Offshore, S.A. de C.V. representado por Celestino Morán Vargas, como cesionario del derecho del cobro de renta, con fecha de 01 de junio de 2017, donde se establece el arrendamiento sobre una fracción de 2,244.87m² del inmueble con superficie de 4,489.75 m² identificado como lote número 3, con frente al Libramiento Oriente, esquina con el servicio de acceso al predio denominado “Huerta La Soledad”, Colonia Rancho Santa Bárbara, en el Municipio de Uruapan, C.P. 60180, Michoacán de Ocampo, México.

El Proyecto contará con la infraestructura necesaria para la red pluvial, sanitaria, energía eléctrica y agua potable.

I.1.1. Infraestructura

El proyecto consistirá en la distribución de Gas Natural Comprimido para uso Vehicular a través de una Unidad Móvil de Almacenamiento (MRU), montada en un semirremolque, por lo cual se solicitará a la CRE, el Permiso de distribución por medio distintos a ducto de gas natural.

La MRU será abastecida por una empresa que cuenta con autorización en materia de impacto ambiental emitida por la ASEA, de la misma empresa ubicada en Tototlán, Jalisco. Para que esto ocurra de manera segura y eficiente las unidades cuentan con:

- Sistema de medición de gas natural a la entrada de la línea de suministro
- Plataforma de 40 ft que incluye el sistema de suministro de gas natural.
- Compresor tipo booster.
- Sistema de guarda sobre plataforma de 20 ft.
- Despachadores de gas natural vehicular.
- Tablero de control.
- Sistema de administración electrónico de para la carga de gas a los vehículos.

Este Proyecto corresponde e integra la construcción, adecuación, instalación y puesta en marcha de la Unidad Móvil de Almacenamiento (MRU), como se muestra en la Figura 1.



A. Tanque de almacenamiento de GNV. **B.** Equipo de compresión de GNV. **C.** Mangueras de descarga de GNV.

Figura 1. Esquema típico de Unidad Móvil de Almacenamiento (MRU)

I.1.2. Ubicación geográfica del Proyecto

I.1.2.1. Domicilio

El Proyecto se ubicará en calle Libramiento Oriente #5535 (Lote 3, esquina acceso a la Huerta La Soledad) en la colonia Rancho Santa Bárbara con código postal 60180, en la ciudad de Uruapan, Michoacán de Ocampo. Con coordenadas geográficas aproximadas 102° 2'20.69" longitud oeste y 19°23'26.76" latitud norte.

I.1.2.2. Localidad en la que se ubicará el Proyecto

Tabla 1. Localidad en la que se ubicará el proyecto

Nº	CLAVE DE LA ENTIDAD	ENTIDAD FEDERATIVA	CLAVE DEL MUNICIPIO	MUNICIPIO	CLAVE DE LA LOCALIDAD	LOCALIDAD
1	16	Michoacán	102	Uruapan	0001	Uruapan

Fuente: Marco Geoestadístico Nacional del INEGI.

I.1.2.3. Mapa de localización del proyecto

De acuerdo a la Figura 2 se observa el polígono que representa el Área del Proyecto, en el cual se harán las maniobras de distribución de gas natural vehicular comprimido.

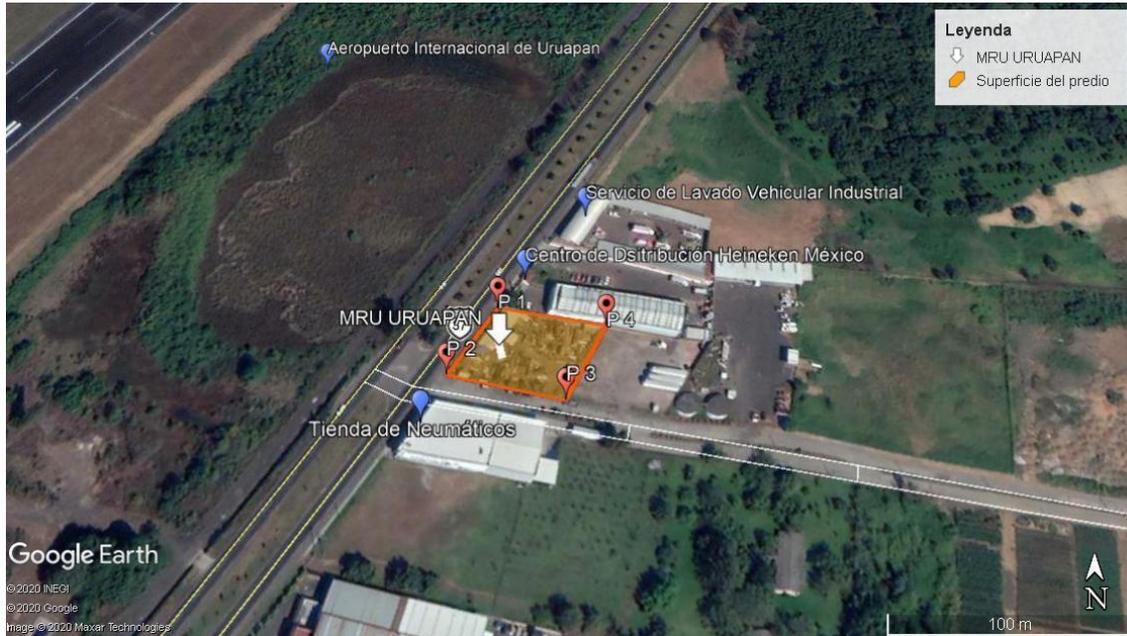


Figura 2. Ubicación del Proyecto “DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL COMPRIMIDO POR MEDIO DE SEMIRREMOLQUES”.

I.1.2.4. Coordenadas geográficas del proyecto

Tabla 2. Coordenadas del predio

Vértice	Latitud	Longitud
1	19°23'27.43	102° 2'20.76
2	19°23'26.25	102° 2'21.47
3	19°23'25.88	102° 2'19.52
4	19°23'27.14	102° 2'19.00

En la Figura 3 se observa la localización general de la MRU Uruapan.

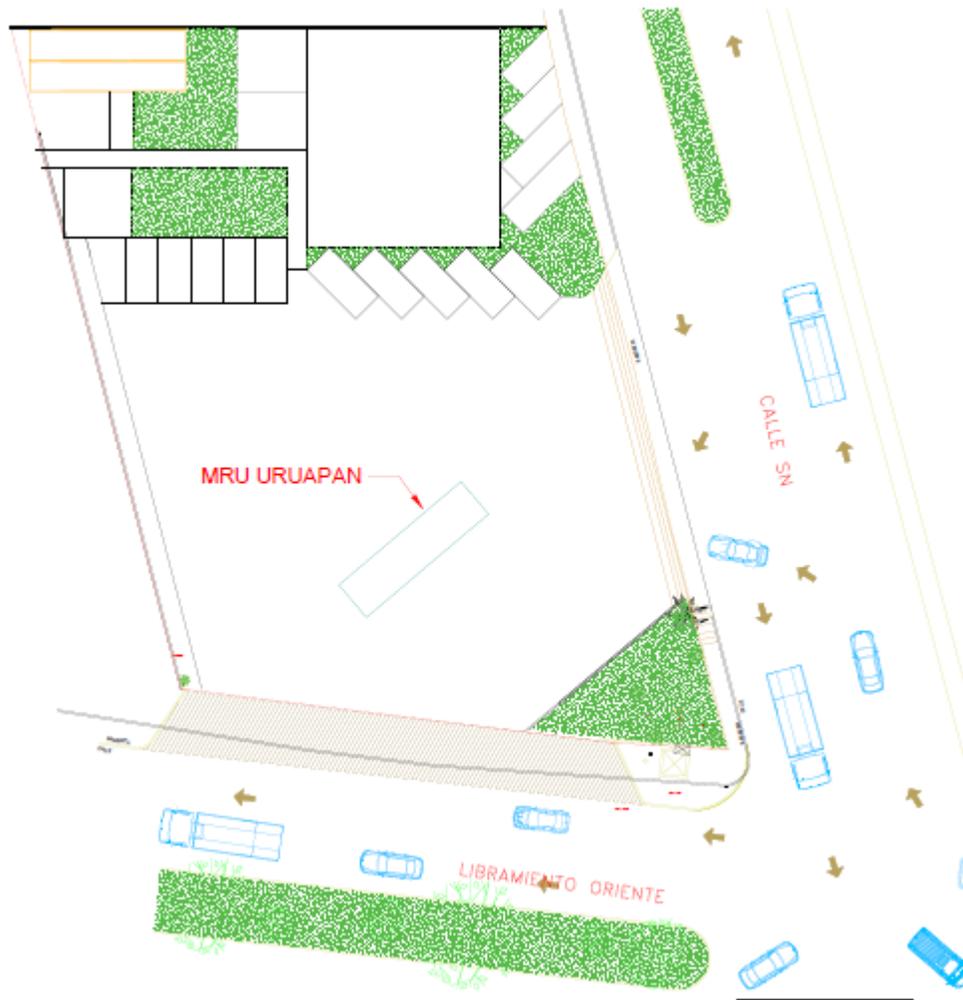


Figura 3. Layout de la MRU Uruapan

En el **Anexo B** se incluye el plano de Planta Arquitectónica de la MRU Uruapan.

I.1.2.5. Colindancias del Proyecto

La MRU Uruapan se ubicará dentro del inmueble ubicado en la calle Libramiento Oriente #5535 (Lote 3, esquina acceso a la Huerta La Soledad), en la colonia Rancho Santa Bárbara con código postal 60180, en la ciudad de Uruapan, Michoacán de Ocampo y presenta las siguientes colindancias:

Al Oeste: Avenida Libramiento Oriente, a 50 metros predio propiedad del Aeropuerto Internacional de Uruapan y a 715 metros zona urbana Colonia Infonavit Aeropuerto.

Al Oriente: Estacionamiento y patio de maniobras de la empresa Parhikuni, S.A. de C.V., a 130 metros predio con pastizal inducido, a 200 metros se encuentra un Salón de eventos sociales que pertenece a UDECAM, A.C., y a 385 metros se ubica la Colonia habitacional Los Fresnos.

Al sur: Colinda 102.05 m con Camino de acceso, a 20 metros la Tienda de neumáticos Michelin, a 65 metros predio de pastizal inducido, a 125 metros se encuentra Calavo Libramiento Oriente (Centro de distribución de frutas y verduras), y a 360 metros Concesionaria KIA Uruapan.

Al norte: Colinda 102.05 m con la empresa Parhikuni, S.A. de C.V., Centro de Distribución de Heineken México, a 70 metros, predio de Servicio de Lavado vehicular, y después, a 500 metros se encuentra el predio que forma parte del Aeropuerto Internacional de Uruapan.

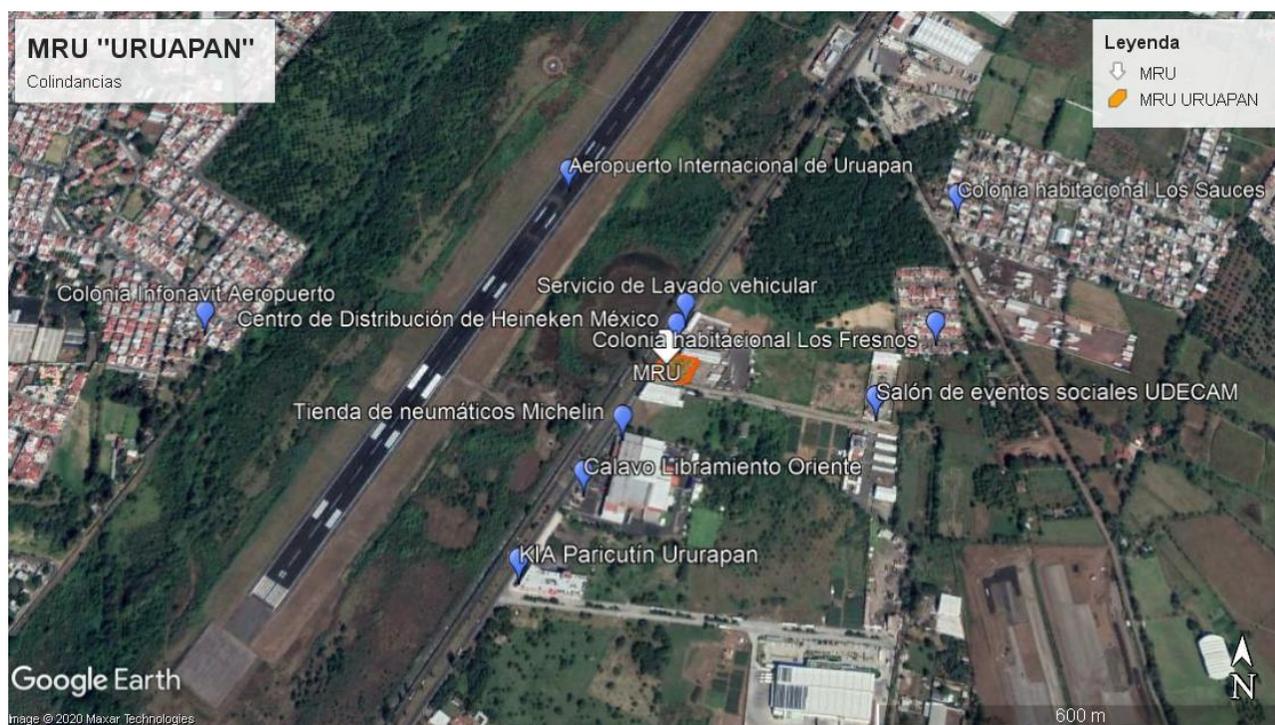


Figura 4. Colindancias del Proyecto

I.1.2.6. Dimensiones del proyecto

Las dimensiones del proyecto son las siguientes:

- La superficie del predio donde se ubica el Proyecto de acuerdo al contrato de arrendamiento es de 2,244.875 m², en la **Tabla 3** se enlista la distribución de la superficie:
- Superficie por afectar con respecto a la cobertura vegetal original: 100.00 m² aproximadamente.

Tabla 3. Usos y Áreas del predio del proyecto.

Uso específico	Área (m ²)	Porcentaje (%)
Despacho de Gas Natural	111.88	4.98
Área verde	366.53	16.33
A. Oficinas	226.56	10.09
Cuarto de aceites	18.00	0.80
Almacén de residuos	16.20	0.72
Caseta de vigilancia e ingreso	10.89	0.49
Cuarto eléctrico	10.39	0.46
Zonas De maniobra y estacionamiento	1,484.42	66.12
Superficie del predio	2,244.875	100%

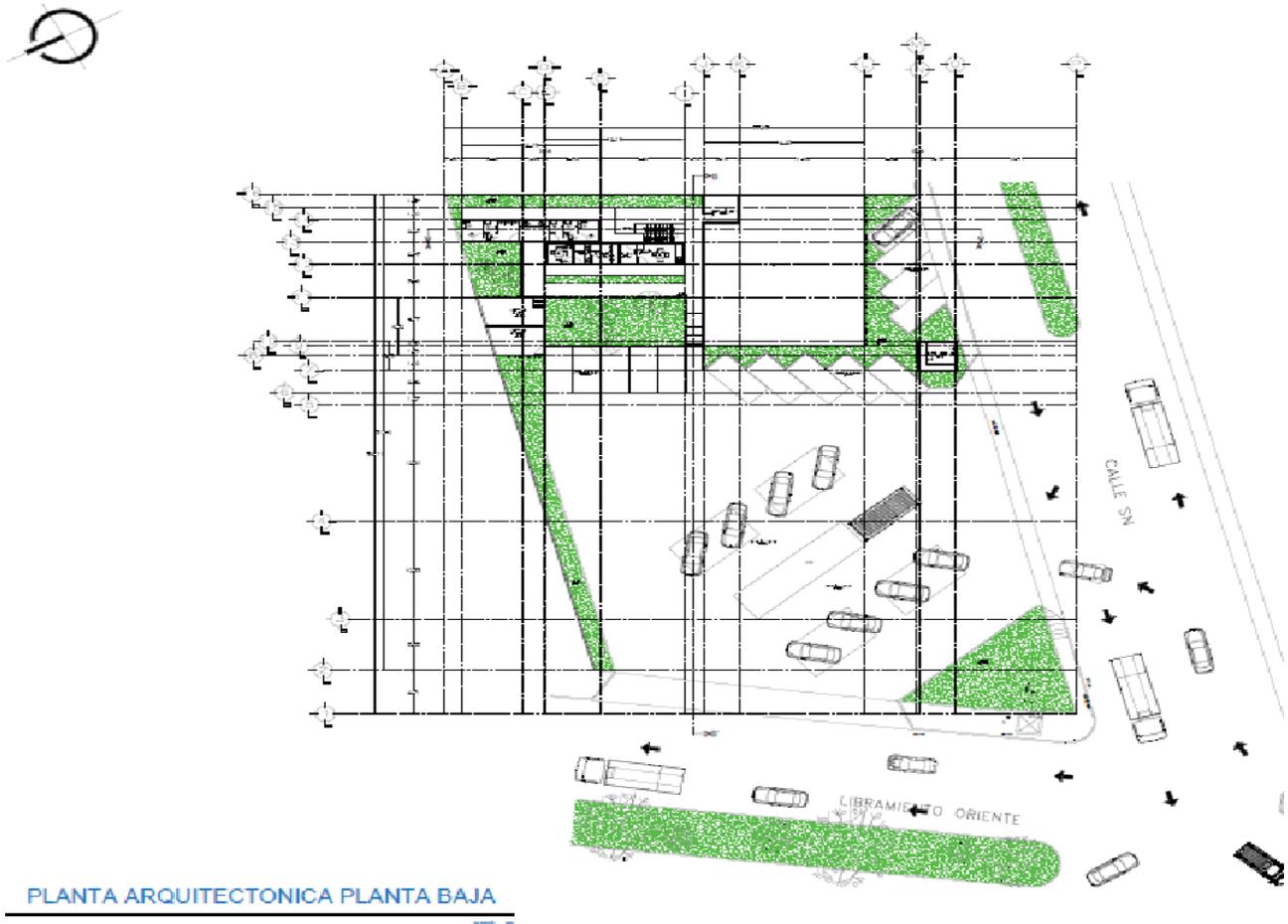


Figura 5. Planta Arquitectónica del Proyecto

I.1.2.7. Vías de acceso

La vialidad para acceder al predio es por el Libramiento Oriente y el camino de acceso S/N, ambas son vialidades de dos sentidos (Figura 6).



Figura 6. Vías de acceso al Proyecto.

I.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La MRU, como su nombre lo indica, funcionan como un punto móvil de distribución de Gas Natural, el cual se ubicará de forma temporal en el punto descrito en el apartado I.1.2.

La MRU cuenta con un sistema de tanques, un panel prioritario, un sistema de compresión y dos puntos de descarga.

En el siguiente esquema se muestran los elementos que componen la MRU.

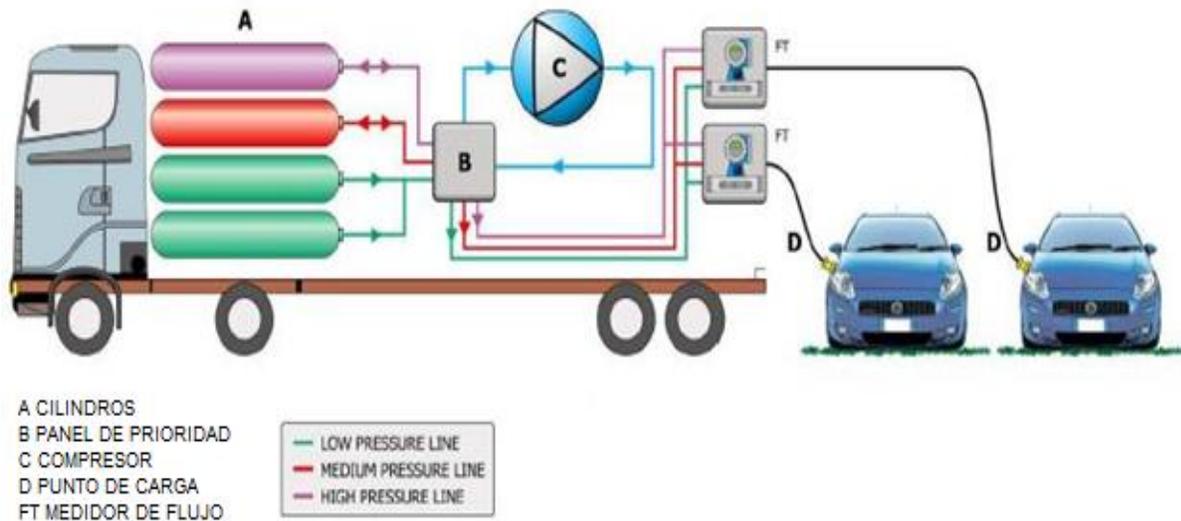


Figura 7. Diagrama del sistema móvil de abastecimiento de gas natural vehicular

- Sistema de medición de gas natural a la entrada de la línea de suministro.
- Plataforma de 40 ft que incluye el sistema de suministro de gas natural.
- Compresor tipo booster.
- Sistema de almacenamiento sobre plataforma de 20 ft.
- Despachadores de gas natural vehicular.
- Tablero de control.
- Sistema de administración electrónico de para la carga de gas a los vehículos.

- **Fase 1: Despacho de GNC a vehículos**

Al principio del proceso, el gas es transportado de rack de cilindros (A) banco de baja presión a los puntos de despacho (D) y empieza a llenar los vehículos.

- **Fase 2: Despacho continuo de GNCV**

Cuando la presión del gas en el rack de cilindros (A) de baja presión iguala a la del vehículo, el abastecimiento de GNC continúa usando ahora el banco de media presión de los cilindros en (A) hasta el punto de despacho (D).

- **Fase 3: Despacho Final**

Cuando la presión del gas en el rack de cilindros (A) de media presión se iguala al del vehículo, el abastecimiento se finaliza usando la presión del banco de alta presión en los cilindros en (A).

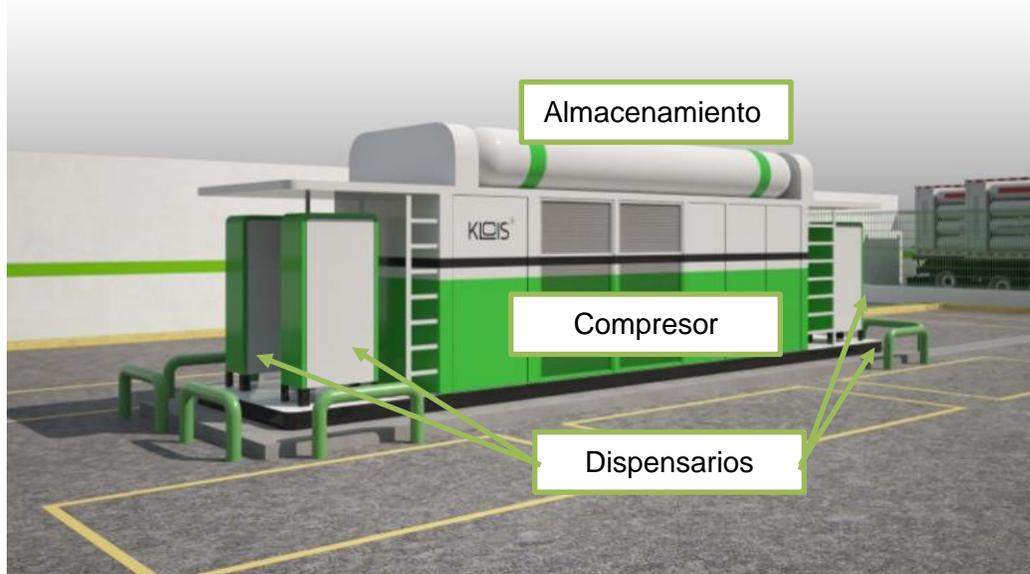
- **Fase 4: Recuperación de GNCV**

Después de abastecer el GNCV, cuando no estén cargando los vehículos, el compresor (C) trabaja a través del panel de prioridades (B) succionando gas del banco de presión media para comprimirlo y devolverlo al banco de alta presión. Con dicho sistema el almacenaje de GNCV en la MRU se encuentra a un 90%, en donde se busca que siempre el banco de alta presión esté lleno para abastecer a los vehículos de manera más rápida.

- **Fase 5: Re-abastecimiento de GNC**

Una vez que el GNC dentro del almacenamiento se haya agotado, la MRU o los contenedores (SKIDS) se tendrán que trasladar a una estación de compresión (madre) para rellenar nuevamente los bancos de gas natural y empezar el ciclo de despacho nuevamente.

Los equipos y características que forman parte de la MRU URUAPAN se muestran en la Figura 8:



INFORMACIÓN GENERAL DEL EQUIPO			
Capacidad	2200-2400NM3	Potencia del motor principal	90Kw
Presión de salida	250Bar	Presión de entrada	30Bar
Voltaje nominal	440V	Frecuencia nominal	60Hz
Corriente nominal	73.7A	Velocidad nominal (RPM)	1780r/min
Potencia del motor de la bomba de agua	3Kw	Capacidad de almacenamiento de agua	4.2M3
Cilindro No.	2	Dispensador No.	4

Figura 8. Equipos y características de la MRU URUAPAN.

I.2.1. Componentes del sistema de expendio.

i. Compresor tipo booster

El sistema incluye un compresor tipo booster, estos compresores son accionados por motores eléctricos que se controlan automáticamente por medio de un interruptor de presión que controla los paros y arranques de acuerdo con la demanda. El compresor estará controlado por un tablero diseñado bajo un esquema eléctrico y de control automático, de tal manera que los interruptores de arranque y paro envían la señal para iniciar o terminar los ciclos.

ii. Sistema de Almacenamiento

La unidad para el suministro de gas natural vehicular cuenta con un sistema de almacenamiento integrado que estará conformada por 1 batería de cilindros, que cuentan con una capacidad de 5140 Nm³. Los tanques son los encargados de recibir el gas que entra a una presión de 250 kg/cm² y es conducido a alta presión por tuberías de acero.

La batería de almacenamiento está compuesta por cilindros de acero, montados sobre un bastidor de acero, con sus válvulas individuales, válvula esférica manual de bloqueo general de salida, válvulas de exceso de flujo, válvula de seguridad por sobre presión y tuberías de interconexión en acero inoxidable.

El sistema de gas natural operará a una presión máxima de trabajo de 250 kg/cm².

Las especificaciones técnicas del sistema se incluyen en la Tabla 4:

Tabla 4. Especificaciones técnicas del almacenamiento de GNC

ITEM	PARAMETRO
MODELO	CNG-GS-17.28/16-25-XN
VOLUMEN TOTAL POR CILINDRO	1.08 m ³
PRESION DE DISEÑO	37.5 MPA
PRESION DE TRABAJO	25 MPA
TEMPERATURA DE TRABAJO	-40~65°C
PRESIÓN DE PRUEBA HIDRAULICA	37.5 MPA
MATERIAL	34CrMo4

iii. Procesos y operación del sistema de expendio.

- **Proceso de purga**

Antes de la primera circulación de gas natural vehicular se elimina el aire contenido en las instalaciones utilizando una corriente de gas inerte, en una cantidad equivalente a 1 Kg/m³ (0.62 lb/pe³). El gas se circula a través de todos los equipos. La operación se complementa inyectando gas natural por una conexión y evacuando el gas inerte a la atmósfera por la otra.

- **Operación del sistema**

El despacho de GNV se hace mediante la manguera que se conecta a la boquilla de los tanques por intermedio de una válvula de tres vías y una válvula de llenado instalada en el vehículo.

Un control electrónico abre la válvula solenoide del banco de baja, una vez la presión se iguala con la del remolque, el programa da la orden para que se abra la válvula solenoide de media y posteriormente se abre la válvula de alta presión hasta que el tanque llega a los valores de operación.

Los escapes de gas al aire están controlados, pero en caso de que ello ocurra, en condiciones normales a cielo abierto, el GNV se disipa rápidamente, debido a que es más ligero que el aire, haciendo que sus moléculas se dispersen dejando de ser explosivo.

iv. Selección del sitio y obra civil requerida

El predio donde se pretende desarrollar el proyecto fue seleccionado, debido a que es una zona en la que existe una alta afluencia vehicular y en donde no se localiza un expendio comercial como el que se pretende desarrollar. Asimismo, el predio ya cuenta con los servicios y autorizaciones locales requeridas para que el proyecto pueda comenzar.

v. Capacidad total del sistema

La capacidad total de diseño del sistema es de un máximo de 2400 Nm³.

I.2.2. Especificaciones técnicas del sistema

I.2.3. Medición electrónica de flujo

El equipo de cómputo monitorea, registra y calcula simultáneamente las condiciones que afectan la medición del caudal de gas, para estos cálculos y registros el equipo de cómputo recibe información de los periféricos con los que registra flujo, presión y temperatura.

- **Flujo:** Los medidores de flujo másico Coriolis miden la masa a través de inercia. El gas denso o líquido fluye a través de un tubo que se hace vibrar por un pequeño actuador. Esta aceleración produce una fuerza de torsión medible en el tubo que es proporcional a la masa. Estos permiten

la obtención de los datos generados en base a las lecturas en base al protocolo de comunicación Modbus.

- **Temperatura:** La medición de la temperatura se obtiene directamente del medidor másico que comparte los datos al equipo de cómputo.
- **Densidad:** El valor de la densidad se utilizará de referencia para la realización del cálculo de flujo de gas que se estará suministrando al semirremolque.

Con la información adquirida, se efectuarán los cálculos necesarios para determinar el consumo o flujo real (a condiciones normales) en la que se encuentra operando el sistema.

El sistema contará con comunicación SCADA para él envío de los datos monitoreados y registrados. Para lograr enlazarse remotamente, se integrará una estación de comunicación vía satelital a través de un equipo de red telefónica, la cual estará enlazada de forma permanente.

I.2.4. Válvula de venteo

Es la válvula de seguridad que abre por medio mecánicos y permite la salida del gas comprimido, ajustada para que su punto de apertura automática sea cuando se alcanza el 10% arriba de la presión de operación que se encuentre en ese punto del sistema de gas, el cierre de este también es automático al alcanzar la presión inferior de ajuste, que sería la presión de operación. Estas válvulas estarán ubicadas en la unidad de almacenamiento de alta presión, y otra en media presión.

I.2.5. Surtidor de GNC

Los surtidores cuentan con un sistema de monitoreo en tiempo real de las variables de operación del gas, además de sistemas de protección contra presión baja, sobre voltaje, para automáticamente cortar el flujo en caso de alcanzar un parámetro no seguro, cada surtidor contará con 2 mangueras de 6 m cada una.

Tabla 5. Especificaciones técnicas del Surtidor de GNC

PARAMETROS PRINCIPALES DEL EQUIPO			
PRESIÓN DE ENTRADA	30~250	Bar g	
PRESIÓN DE SALIDA	250	Bar g	
CONSUMO DE ENERGÍA	100	Kw	
CAUDAL MEDIO	2000-2400	Nm3/h	
TEMPERATURA DE ENTRADA DE GAS		°C	
TEMPERATURA AMBIENTE	-40~40	°C	
ALIMENTACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS	TIPO	TRIFASICA	
	VOLTAJE	380	V
	FRECUENCIA	50	hz
DENSIDAD DE GAS	0.6~0.8	Kg/m3	

Tabla 5. Especificaciones técnicas del Surtidor de GNC

PARAMETROS PRINCIPALES DEL EQUIPO		
DIMENSIONES (LxWxH)	10000x2438x3750	mm

I.2.6. Medidor másico marca Emerson

La descripción del equipo es: CNG050S290NQEPMZZZ

Modelo: Micro Motion Coriolis

Sensor serie CNG, ½ pulgada, 316L acero inoxidable.

290: Conexión de proceso #12, adaptador Swagelok.

N: Opción de cuerpo: Estándar.

Q: Procesador central integrado de aluminio con revestimiento de poliuretano, de 4 hilos, para transmisores remotos.

I.2.7. Suministro de energía

Para el suministro de energía del motor eléctrico debe ser de acuerdo a los datos proporcionados en la placa de identificación del motor. No suministrar energía al motor con una línea de alimentación con especificaciones diferentes a las indicadas.

Todas las actividades que se realizaran en el proceso operativo cumplen con las medidas de seguridad establecidas por 3EGASV S. de R.L. de C.V., así como todo lo establecido en las normatividades aplicables, reduciendo así los accidentes dentro y fuera de las instalaciones.

Para los mantenimientos la empresa cuenta con manuales, los cuales tienen como objetivo principal el conservar en condiciones óptimas de seguridad y operación los elementos constructivos, equipos e instalaciones.

Se cuenta con programas de mantenimiento los cuales están elaborados conforme a los manuales de mantenimiento de cada equipo y conforme a las indicaciones de los fabricantes, proveedores de materiales y constructores.

I.2.8. Compresor de gas natural

En la Figura 10 se muestra el diagrama del sistema general:

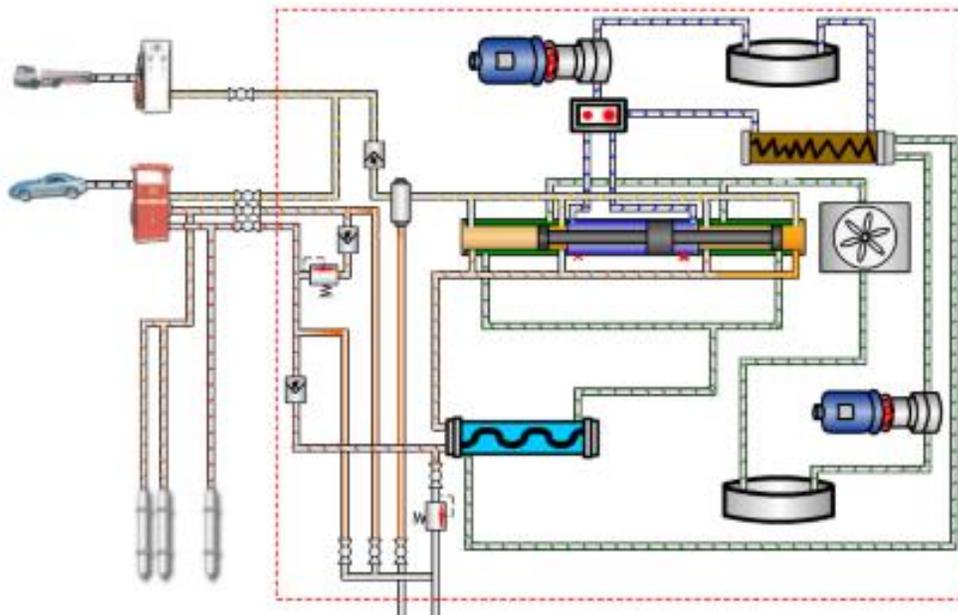


Figura 9. Diagrama del sistema general

En la Tabla 6 se enlistan los parámetros del equipo de compresión:

Tabla 6. Parámetros del equipo de compresión

PARAMETROS PRINCIPALES DEL EQUIPO DE COMPRESIÓN			
PRESIÓN DE ENTRADA	30~250	Bar g	
PRESIÓN DE SALIDA	250	Bar g	
CONSUMO DE ENERGÍA	100	Kw	
CAUDAL MEDIO	2000-2400	Nm3/h	
TEMPERATURA DE ENTRADA DE GAS		°C	
TEMPERATURA AMBIENTE	-40~40	°C	
ALIMENTACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS	TIPO	TRIFASICA	
	VOLTAJE	380	V
	FRECUENCIA	50	hz
DENSIDAD DE GAS	0.6~0.8	Kg/m3	
DIMENSIONES (LxWxH)	10000x2438x3750	mm	

En la **Figura 10**, se observa una vista lateral del equipo:

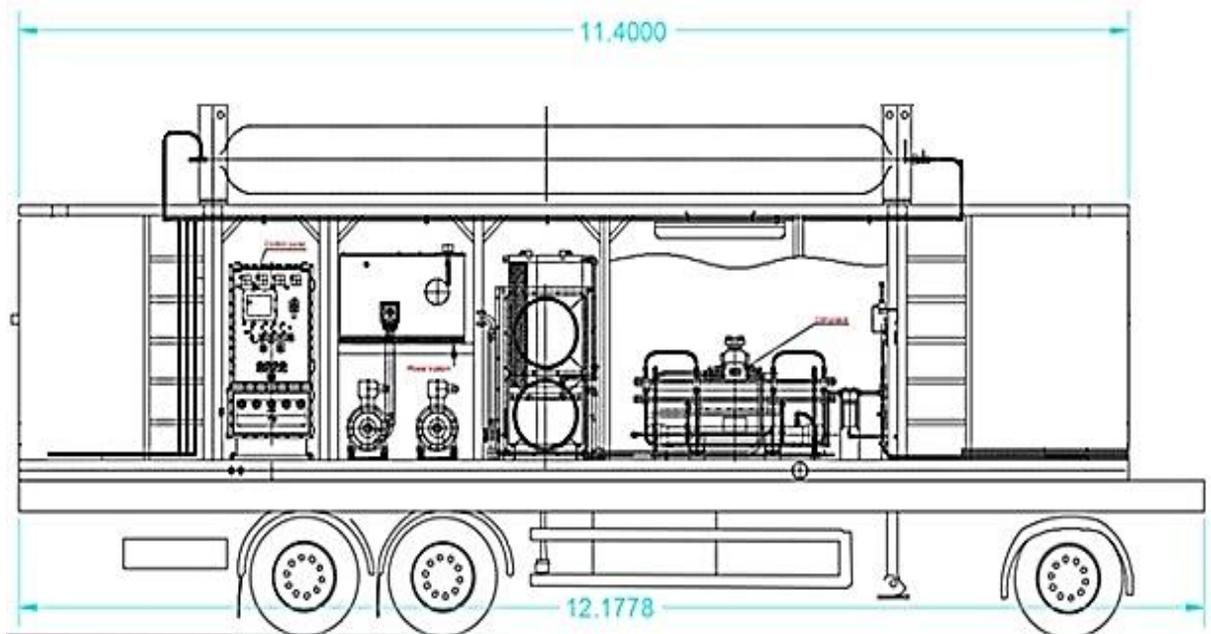


Figura 10. Vista lateral del equipo.

En la **Figura 11**, se muestra el diagrama del compresor hidráulico.

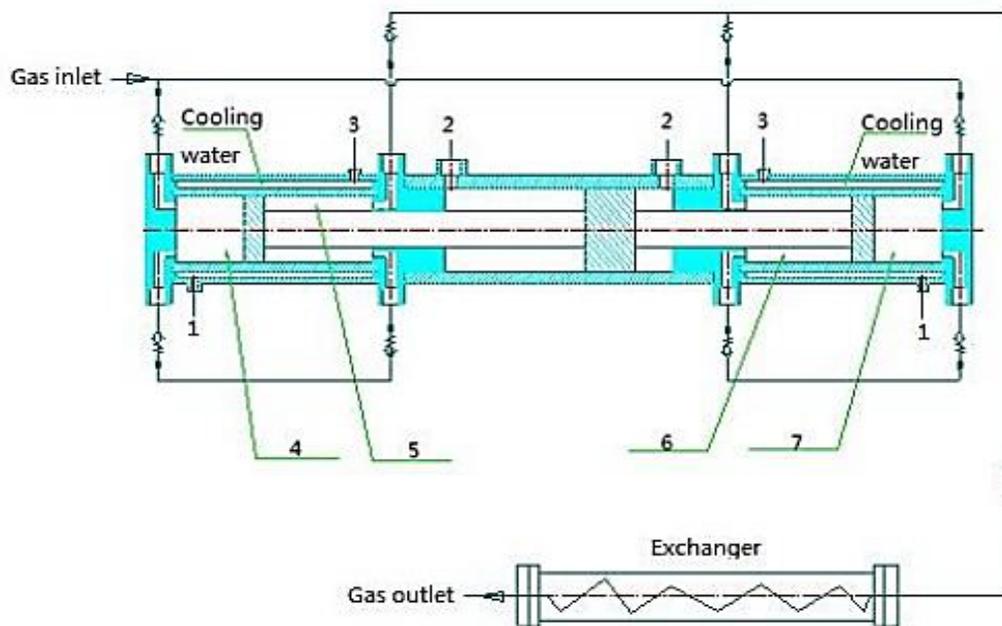


Figura 11. Diagrama del compresor hidráulico

En la Tabla 7 se enlistan los elementos del compresor hidráulico:

Tabla 7. Elementos del compresor hidráulico

Elemento	Descripción
1	Entrada de agua.
2	Salida de agua.
3	Entrada y salida de agua.
4	Cilindro grande izquierdo de compresión.
5	Cilindro pequeño izquierdo de compresión.
6	Cilindro pequeño derecho de compresión.
7	Cilindro grande derecho de compresión

I.2.9. Procedimiento para el suministro de gas natural a vehículos

El personal requerido para la operación de la **MRU “Uruapan”** es de un máximo de 6 personas: 4 despachadores, 1 administrador y 1 técnico de mantenimiento que trabajarán en turnos de 8 horas.

La MRU de GNCV es una instalación equipada técnicamente para suministrar GNCV a los vehículos, cumpliendo con todas las normas de seguridad establecidas a nivel nacional.

El operador de una MRU de GNCV, debe tener la capacidad de identificar los componentes, tomar lecturas, interpretar y realizar observaciones de los diferentes elementos, verificar el estado de las partes y su funcionamiento, para realizar una excelente inspección que sirva como insumo para la adecuada operación y mantenimiento en la MRU. Además, el operador debe suministrar combustible, recibir el dinero de venta y reportarlo en las consignaciones de acuerdo con las normas de la empresa.

La operación de las Unidades de Abastecimiento Móvil (MRU) de GNCV, requiere de personal capacitado técnicamente con altos valores para prestar un servicio de excelente calidad a los clientes.

El procedimiento de llenado de los vehículos es una operación muy simple, reduciéndose a los siguientes pasos:

- 1) Verificar el cumplimiento de las condiciones:
 - Presión de suministro de GNCV.
 - Válvula esférica de bloqueo manual totalmente abierta.
- 2) Cumplidas estas condiciones, el operador desprende la válvula de carga de su alojamiento
- 3) Inicia la recepción e interactúa con los clientes para ubicar correctamente los vehículos
- 4) Revisa plaqueta, calcomanía, o chip y/o usa código
- 5) Se produce la puesta en cero en el tablero del surtidor y posteriormente se abre la válvula solenoide
- 6) Acopla la manguera de llenado. Este acople debe hacerse sin mucho esfuerzo; si hay alguna resistencia, se debe limpiar y lubricar la boquilla y cuando este acoplada la manguera, se debe girar lentamente la válvula de llenado.
- 7) Normalmente el sistema del vehículo llegará a su presión de llenado entre 4 y 5 minutos. Durante el llenado se oír y sentirá una pequeña vibración en la medida que el gas este pasando por la manguera. Cuando el flujo de gas pare, cierre la válvula en la línea de gas, releve la presión de entre la manguera y la conexión del vehículo.

I.2.10. Suministro de GNC a MRU

La base de compresión de gas natural en donde se proveerá el suministro del hidrocarburo será a través de una empresa que cuente con el permiso de Transporte de GNC por parte de la CRE, quien se encargará de llevarlo al punto de descarga del proyecto.

I.2.11. Sustancias manejadas en el proceso

La sustancia química involucrada en el proceso es el **gas natural** el cual se compone principalmente de gas metano, la hoja de seguridad con sus datos y características se encuentra a continuación.

Tabla 8. Identidad Química del Gas Natural

Nombre químico	Número CAS	Concentración	Otros identificadores únicos
Gas natural	8006-14-2	100.00 %	Número Comunidad Europea 232-343-9

Tabla 9. Identificación de Peligros

Peligros	Clasificación SAC	Indicación de peligro
Físicos	Gas inflamable, categoría 1A. Gas a presión, categoría gas comprimido.	H220 Gas extremadamente inflamable. H280 Contiene gas a presión; puede explotar si se calienta
Para la Salud	Corrosión / irritación cutánea, categoría 2. Lesiones oculares graves / irritación ocular, categoría 2A-	H315 Provoca irritación cutánea. H319 Provoca irritación ocular grave. Nota: Las indicaciones para peligros para la salud fueron tomadas de ECHA, 2018.
Para el Medio Ambiente	No aplica.	No aplica.

Elementos de las etiquetas del SAC Pictograma



Figura 12. Pictogramas de identificación de peligros

En la siguiente tabla se observa la clasificación del riesgo del Gas Natural por parte de la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA por sus siglas en inglés).

Tabla 10. Clasificación de riesgo de la NFPA Gas natural

4	Inflamabilidad
1	Salud
0	Reactividad
	Especial

Siendo el gas natural una sustancia, sus componentes principales son: Metano con 83,0% volumen mínimo en la Zona Sur y 84,0% volumen mínimo (CPG Poza Rica, Burgos y Arenque; así como Etano con un 11,0%volumen máximo (PTI, 2018). Las impurezas y aditivos estabilizadores que contiene son: Etil Mercaptano 17-28 ppm, H₂S 6,0 mg/m³ máximo, Azufre total 150 mg/m³ máximo, Nitrógeno 8,0% volumen máximo (Zona Sur) y 4,0% volumen máximo (CPG Poza Rica, Burgos y Arenque), CO₂ 3,0%volumen máximo, Oxígeno 0,2%volumen máximo) y Humedad 110 mg/m³ máximo.

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos ligeros compuestos principalmente de metano, etano, propano, butanos y pentanos. Otros componentes tales como el CO₂, el helio, el sulfuro de hidrogeno y el nitrógeno se encuentran también en el gas natural.

El metano es una sustancia altamente inflamable, se quema fácilmente y casi totalmente. El gas natural no es corrosivo ni tóxico, su temperatura de combustión es elevada y posee un estrecho intervalo de inflamabilidad, lo que hace de él un combustible fósil seguro en comparación con otras fuentes de energías.

El gas natural es incoloro, inodoro, insípido, sin forma particular y más ligero que el aire. Se presenta en su forma gaseosa por debajo de los -161°C. Por razones de seguridad, se le añade mercaptano, un agente químico que le da un olor a huevo podrido, con el propósito de detectar una posible fuga de gas, a continuación, se describirá este componente.

Tabla 11. Propiedades del Gas natural

Propiedades	
Nombre del producto	Gas Natural
Nombre químico	Metano
Familia química	Hidrocarburos del petróleo
Formula molecular	Mezcla (CH ₄ + C ₂ H ₆ + C ₃ H ₈)
Peso molecular	18.2
Temperatura de ebullición (1 atmósfera)	- 160.0 °C
Temperatura de fusión	- 182.0 °C
Densidad de los vapores (Aire=1, 15.5 °C)	0.61 (más ligero que el aire)
Densidad del líquido (Aire=1, 0/4 °C)	0.554
Relación de Expansión	1 litro de líquido se convierte en 600 litros de gas
Solubilidad en agua (20 °C)	Ligeramente soluble (0.1, 10%)

Etil-mercaptano

El Etil-mercaptano es un gas que se emplea en la odorización del Gas Natural. Por decreto de la Norma Oficial Mexicana (NOM-003-ASEA-2016), el gas debe ser odorizado a una concentración tal que permita ser detectado por el olfato cuando las concentraciones alcancen una quinta parte del límite inferior de explosividad (LIE), o cuando la proporción de gas en aire sea de 1% (uno por ciento).

De acuerdo con el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Químicos, el Etil-mercaptano se clasifica bajo las siguientes claves, Tabla 12.

Tabla 12. Clasificación del etil-mercaptano de acuerdo con el sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de químicos

Código	Indicación de Peligro Físico	Clase de Peligro	Categoría de Peligro
H224	Líquidos y vapores extremadamente inflamables	Líquidos inflamables	1
H302	Nocivo en caso de ingestión	Toxicidad aguda por ingestión	4
H317	Puede provocar una reacción cutánea alérgica	Sensibilización cutánea	1, 1A, 1B
H332	Nocivo si se inhala	Toxicidad aguda por inhalación	4

Por parte de la clasificación de la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego, el Etil-mercaptano se clasifica de la siguiente manera, Tabla 13:

Tabla 13. Clasificación de riesgo del Etil-mercaptano según la NFPA

0	Inflamabilidad
3	Salud
0	Reactividad
	Especial

I.2.12. Condiciones de operación de la Estación de Servicio (EDS)

Este Proyecto solo contempla una unidad móvil de almacenamiento la cual los parámetros de operación vienen definidos por el fabricante, a través de sus manuales de operación, sin embargo, es indispensable recalcar que las condiciones operativas serán estrictamente establecidas por cada una de las fichas técnicas, y a continuación se presentan algunas para una fácil relación.

Tabla 14. Condiciones de Operación de la Estación de Compresión

Técnicas	Temperatura interna	293.15 °K (20 °C)
	Presión interna	250 Bar
Ambientales	Temperatura Ambiente	16.9 °C
	Velocidad del viento	10 Km/h
	Dirección del viento	22.5° NNE
	Humedad	0 - 10%

Tabla 15. Condiciones Operativas de los dispensadores

Técnicas	Temperatura interna	298.15 °K (25 °C)
	Presión interna	250 Bar
Ambientales	Temperatura Ambiente	16.9 °C
	Velocidad del viento	10 Km/h
	Dirección del viento	22.5° NNE
	Humedad	0 - 10%
	Altitud	2135 m

Tabla 16. Características de la instrumentación y control.

Dispositivo	Descripción
Tablero de Control	El tablero de control electrónico monitorea y controla el fluido eléctrico de los compresores en sus arranques, funcionamiento y paradas, y los sistemas de seguridad de los equipos
Compresores	La línea de suministro y la salida del compresor cuentan con una válvula de cierre manual al igual que de un interruptor de corte de energía eléctrica
Unidad de almacenamiento	La batería normalmente cuenta con una válvula manual, una válvula de alivio por sobre presión. Cada batería estará provista de su manómetro, una válvula de bloqueo y purga y un rotulo visible que indica en psi la presión máxima de carga, una válvula de bloqueo que independizará cada cilindro. Adicionalmente cada cilindro cuenta con la fecha de fabricación y de servicio. A la salida del almacenamiento se instala una válvula de bloqueo servocomandada, que corta el suministro de GNC a los dispensadores cuando se accione el sistema de parada de emergencia
Surtidores	Tienen dispositivos que controlan electrónicamente el cierre y la apertura de las líneas de alimentación que vienen del almacenamiento. Además, cuentan con una válvula de exceso de flujo la cual corta la salida del gas, si llegase a haber una rotura. Las mangueras que incluyen estos equipos son flexibles y resistentes a la corrosión y al daño mecánico, y deberán estar soportadas sobre el surtidor para prevenir el exceso de doblamiento lo cual produce el desgaste. Los surtidores tendrán una válvula de bloqueo manual para cortar el suministro de GNV al surtidor.
Extintores	Se instalarán de acuerdo con la normatividad vigente

Instalación del sistema de CCTV y datos: Esta área contará con un sistema de datos tipo modem inalámbrico para comunicación con la MRU y un sistema de CCTV que incluye 2 cámaras, todo esto montado sobre postes de concreto 7,500kg compartidos con iluminación y comunicación alámbrica aérea acorde a los lineamientos técnicos en redes de telecomunicación.

Instalación de señalética: Para delimitar el área operativa se utilizará barriles para tránsito (con cinta reflejante) sujetos con cadenas para impedir el acceso de personas y vehículos. Se instalarán señalizaciones en las paredes, sobre los equipos MRU y señaléticas tipo móviles para las zonas de circulación de buses. Todas las señaléticas seguirán las especificaciones según las Normas NOM-003-SEGOB-2011 (Señales y avisos para protección civil. - Colores, formas y símbolos a utilizar) y la norma NOM-026-STPS-2008 (Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.)

En el **Anexo B** se incluye el plano de señalización de la **MRU “Uruapan”**.

Instalación de sistema contra incendio: Se colocarán equipos de extintores del tipo Polvo Químico Seco (PQS): nueve (9) extintores de capacidad 6 kg c/u y un (1) extintor de capacidad de 35 kg.y tres (3) extintores de CO₂ con capacidad de 10 libras c/u.



Figura 13. Plano de señalética del Proyecto

I.3. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO

El municipio de Uruapan está situado al noroeste del estado, en las coordenadas de los 20°54'15" a los 21°10'45" latitud norte y de los 102°05'00" a los 110°14'40" de longitud oeste, a una altura entre los 1,800 y 2,100 metros sobre el nivel del mar.

La ciudad de Uruapan está inmersa en el eje Neovolcánico mexicano, al centro-occidente del estado de Michoacán, tiene una extensión territorial total de 954.17 km². Limita con los municipios de Los Reyes, Charapan, Paracho, Nahuatzen, Tingambato, Ziracuaretiro, Taretan, Nuevo Urecho, Gabriel Zamora, Parácuaro, Nuevo Parangaricutiro, Tancítaro y Peribán.

I.3.1. Clima

El clima del municipio de Uruapan es uno de los más variados del estado de Michoacán pues se ve influenciado por las diferentes de altitud en el terreno, existen cinco tipos diferentes de clima. La zona norte tiene un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, en la zona central del municipio, la más elevada, tiene un clima templado húmedo con abundantes lluvias en verano, en la misma zona central otro sector tiene **clima Semicálido húmedo** con abundantes lluvias en verano, hacia el sur otra zona registra clima semicálido-subhúmedo con lluvias en verano y finalmente en el extremo sur del municipio el clima es clasificado como cálido subhúmedo con lluvias en verano.

La temperatura media anual del territorio también se encuentra dividida en tres zonas, la zona norte del municipio tiene un rango de 6 a 20 °C, la zona centro y sur tiene un promedio entre 10 y 27 °C, y finalmente dos porciones del extremo sur registran de 14 a 33 °C; el centro del municipio de Uruapan es una de las zonas que registran mayor promedio pluvial anual en el estado de Michoacán, superando los 1500 mm al año, hacia el norte y sur de esta zona el promedio va de 1200 a 1500 mm, y hacia el sur se suceden dos zonas más, donde el promedio es de 1000 a 1200 mm y de 800 a 1000 mm.

De acuerdo con la clasificación de Köppen-Geiger modificada por García, el tipo de clima donde se localiza el sistema ambiental y el área de influencia es:

Clima predominante en la Meseta Tarasca, se caracteriza porque su temperatura media anual varía de los 18°C en los valles y bajíos, hasta los 12.5°C en las sierras del centro de la Meseta Tarasca. Las lluvias presentan rangos muy amplios (646 mm- 1,642 mm), lo que permite clasificar a los climas templados en varios tipos según su humedad, para el caso de Uruapan se considera como clima Semicálido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18 ° C, temperatura del mes más frío menor de 18 ° C, temperatura del mes más caliente mayor de 22 ° C. y la precipitación del mes más seco es menor a 40 mm; lluvias de verano con índice P / T mayor de 55 y con porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.



Figura 14. Tipo de Clima en el Área del Proyecto. SIGEIA.

I.3.2. Temperatura

En la Tabla 17 se muestran los valores de temperatura y los promedio mensuales máximos y mínimos registrados en la Estación Climatológica “Uruapan” para el periodo 1981- 2010; la cual se ubica aproximadamente a 1.54 kilómetros al sureste del área del Proyecto.

Tabla 17. Datos de temperatura mensual registrada en la estación “Uruapan”.

Temperatura	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Máxima mensual	26.5	28.7	31.2	32.8	32.4	30.9	29.3	28.3	27.9	27.4	27.3	26.2
Media mensual	17.7	19.5	21.7	23.2	23.0	22.9	22.0	21.5	21.0	19.8	18.7	17.4
Mínima mensual	8.8	10.2	12.2	13.5	13.5	14.9	14.7	14.7	14.2	12.7	9.8	8.6

Como se puede observar en la gráfica de la Figura 15, los meses en donde se registran las mayores temperaturas son de abril a junio, teniendo la temperatura máxima mensual en el mes de abril con una máxima de 32.8°C; mientras que las temperaturas más bajas corresponden a los meses de diciembre y enero, oscilando entre los 26°C.

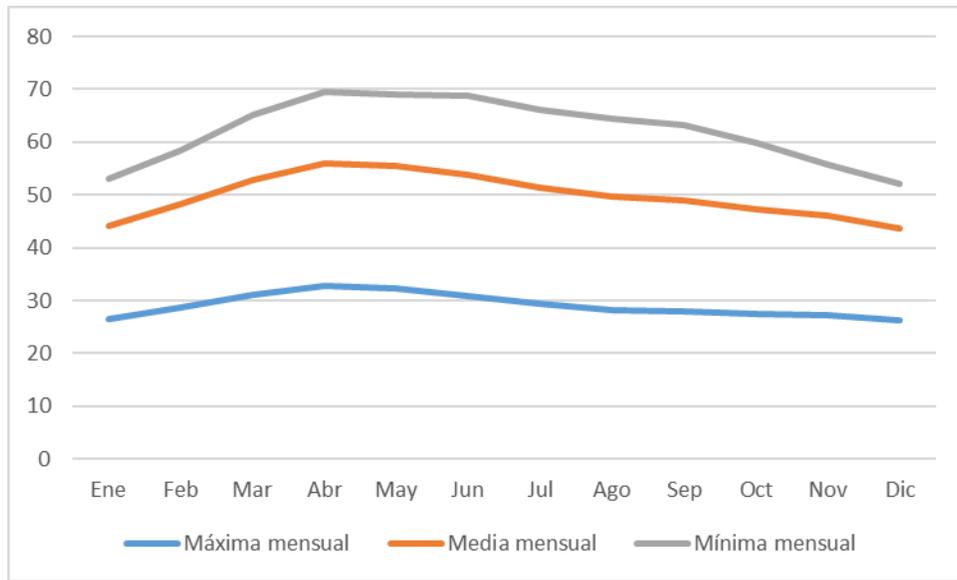


Figura 15. Gráfica de Datos de temperaturas en la Estación Uruapan durante el periodo 1981-2010.

1.3.3. Precipitaciones

En la Tabla 19 se muestran los datos de precipitación normal, máxima mensual y máxima diaria, que fueron registrados en Estación Climatológica “Uruapan” para el periodo 1981- 2010, la cual se ubica aproximadamente a 1.54 kilómetros al noreste del área del Proyecto.

El registro de precipitación normal comprendido durante los meses de junio a septiembre, presentan valores por arriba de 150 mm como se puede observar en la Gráfica de la Figura 16, el dato de máxima mensual es en el mes de junio, teniendo 12.9 días con lluvia, en los meses de octubre a mayo se presenta un rango similar de precipitaciones, teniendo el valor más bajo en el mes de febrero con 0.4 días con lluvia.

Tabla 18. Datos de precipitación registrada en la estación “Uruapan”.

Precipitación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Normal	6.8	29.8	9.0	5.1	9.8	92.5	155.9	201.0	167.6	128.8	29.3	2.2



Figura 16. Gráfica de Datos de precipitación en la Estación Uruapan durante el periodo 1981-2010.

I.3.4. Fisiografía.

El municipio de Uruapan tiene una superficie es de 1014.34 km² y representa 1.62 por ciento del total del Estado de Michoacán.

El Sistema de Topoformas que presenta el municipio según el prontuario de INEGI de 2009 es el siguiente:

- Eje Neovolcánico (100%)
- Neovolcánica Tarasca (64.22%) y Escarpa Limítrofe del Sur (35.78%)
- Sierra volcánica con estrato volcanes o estrato volcanes aislados con llanuras (61.71%), Meseta basáltica con cañadas (17.34%), Meseta basáltica con sierras (7.72%), Llanura aluvial (5.77%), Sierra compleja (4.90%), Sierra volcánica con estrato volcanes o estrato volcanes aislados (2.51%) y Lomerío de tobas (0.05%). Ver Figura 17.

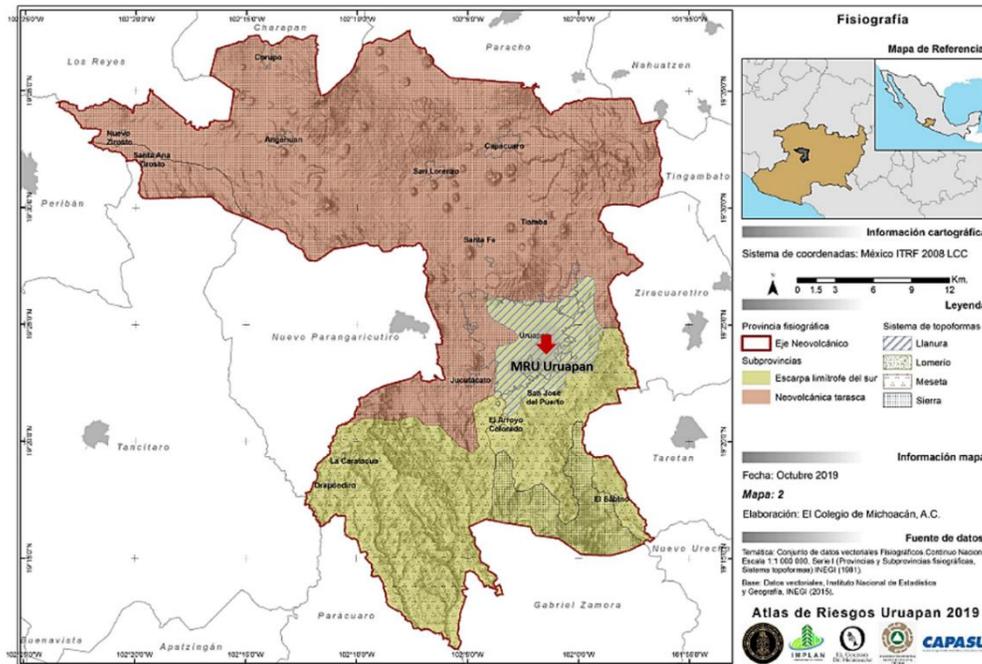


Figura 17. Fisiografía en el área del Proyecto.

1.3.5. Geología

El municipio de Uruapan, Michoacán, se encuentra enclavada en el límite sur de la provincia geológica denominada Meseta Tarasca caracterizada por una gran abundancia de conos volcánicos de tipo cinerítico de edad Cuaternaria y número menor de prominencias eruptivas de gran tamaño como el Cerro de Tancitaro, Cerro de la Cruz, Quinceo, Patamba y otros más que se localizan al norte de la ciudad y que todos juntos forman la zona montañosa del sur del Eje Neovolcánico o Eje Transversal Mexicano, que es continuación de la proyección de la falla Clarión que aparece dislocada en el fondo del Océano Pacífico y que penetra a la República Mexicana por el oeste de la misma, la atraviesa hasta la sierra de los Tuxtlas, Veracruz dividiéndola en dos grandes porciones, las que destacan las más próximas a las zonas de la falla, por el norte del altiplano que comprende los estados de Nayarit, parte de Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Tlaxcala y Veracruz, por la parte sur parte de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Morelos, Puebla, Oaxaca y los del Sureste Mexicano.

Todas las erupciones volcánicas se localizan al sur del Eje Neovolcánico, aparecieron a partir del terciario hasta nuestros días, tal como lo manifiesta la erupción del volcán Parícutín. No existen fallas geológicas aparentes o reportadas por el INEGI, pero si es una zona de sismicidad.

La composición geológica donde se localiza el SA es la que se muestra en la Figura 19 Q(s) - Cenozoico, Cuaternario.

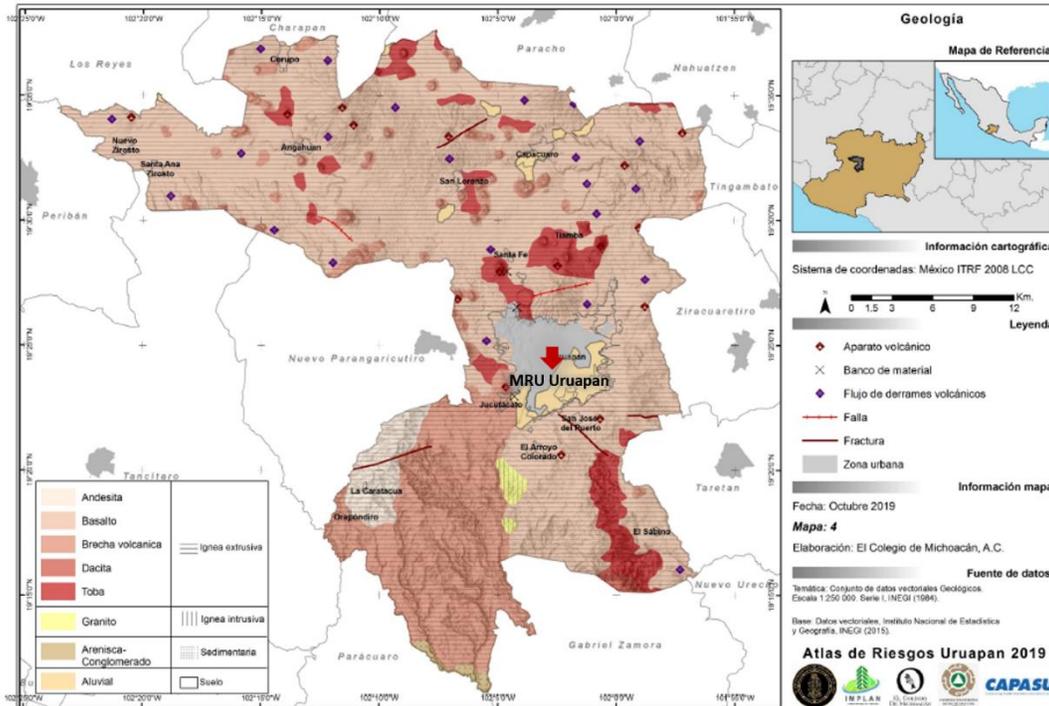
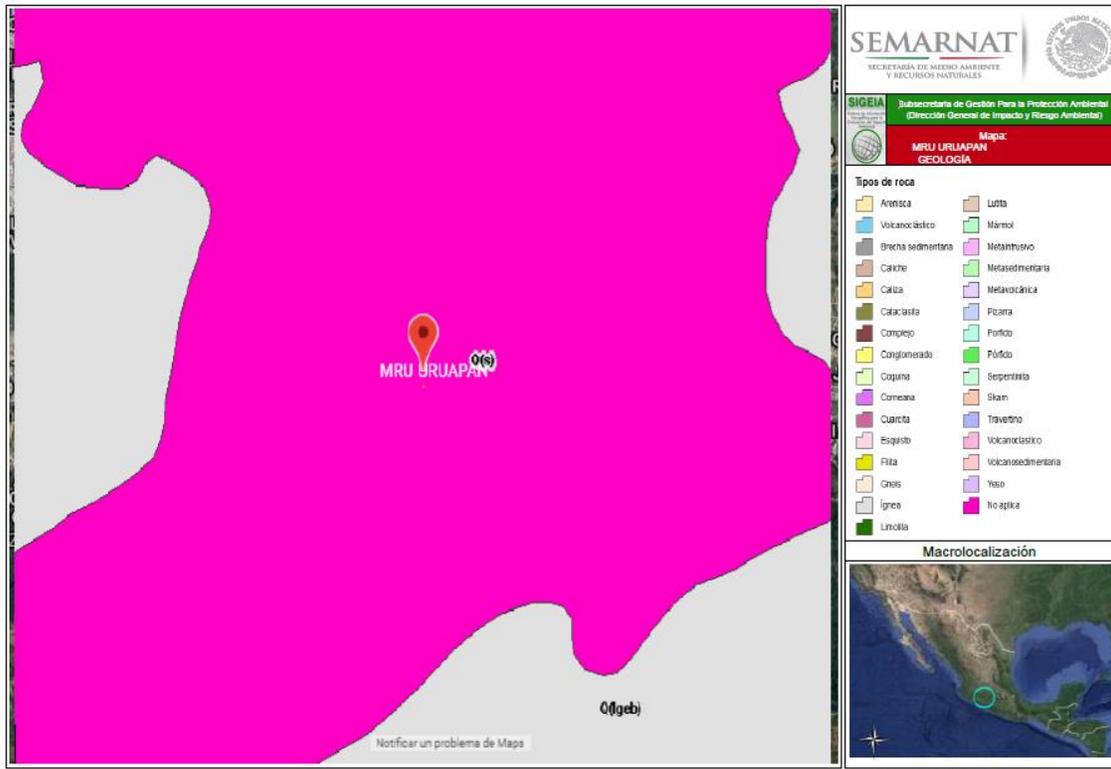


Figura 18. Geología en área del Proyecto.

I.3.6. Geomorfología

El Municipio de Uruapan es un pequeño valle aislado con suaves pendientes, rodeado del Sistema Volcánico Transversal, de cerros denominados: La Charanda, La Cruz, Cutzato, Pario, Copitiro, Metate, Eguacuaro, Jicalan, Magdalena y entre estos el valle de Uruapan.

Las rocas que cubren toda esta zona son principalmente ígneas extrusivas basálticas, piroclásticos y brechas, y en menor extensión intrusivas gráficas hacia el sur del área de estudio. Riolitas y brechas (Qtvrb). Estas rocas afloran en la porción suroriental del área, consistentes de riolitas de color café rosado que alternan con brechas. Su mejor exposición se puede ver en el Cerro El Guayabo. Debido a su similitud litológica con otros derrames, además de estar cubiertas discordantemente por los derrames de basaltos y brechas alteradas, se les asigna tentativamente una edad correspondiente al Terciario. Por su estructura masiva y compacta, estas rocas presentan muy baja permeabilidad y funcionan como confinantes. Basaltos y brechas alteradas (Qtvba). Estos derrames y brechas alteradas se encuentran expuestos en la porción sur-occidental del área, formando una serie de mesetas.

El predio se encuentra en una zona plana en donde se distingue un estrato superficial formado por limos orgánicos de media plasticidad.

El área de influencia del proyecto donde se instalará la MRU, se ubican en la Figura 19.

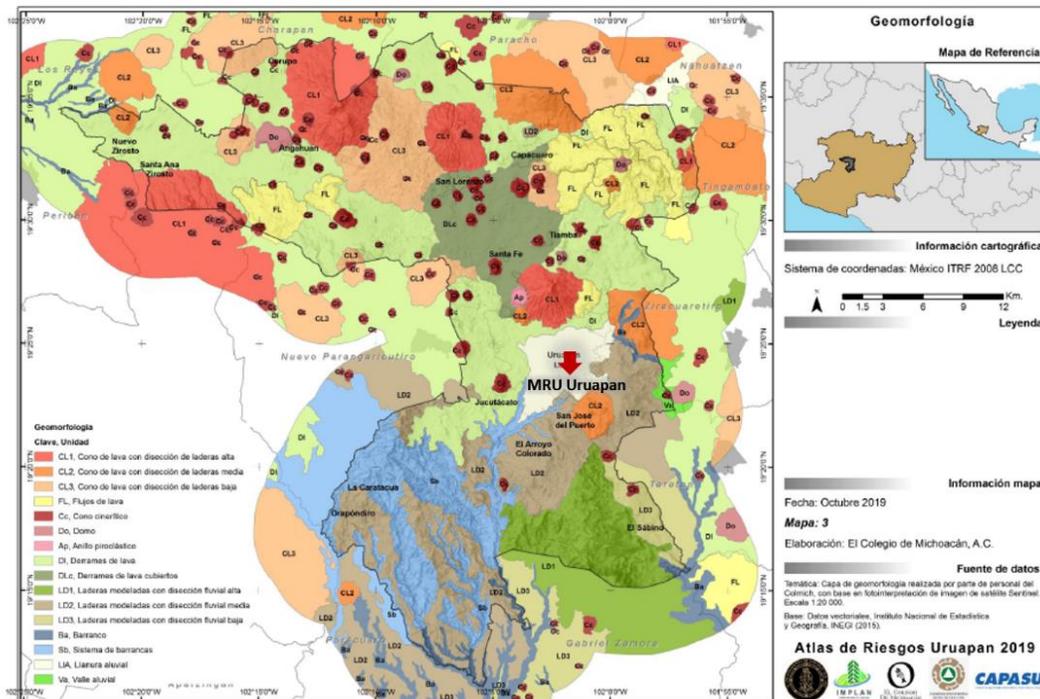


Figura 19. Geomorfología en área del Proyecto. Atlas de Riesgo.

I.3.7. Susceptibilidad Sísmica

De acuerdo con el catálogo de sismos del Servicio Sismológico Nacional dentro del periodo de 01/01/1900 al 01/01/2020 en el municipio de Uruapan se han registrado 3 eventos de importancia sísmica (**Tabla 19**):

Tabla 19. Sismos reportados del 1900-01-01 al 2020-01-01, buscando a partir de todas las magnitudes, todas las profundidades, en Uruapan, Michoacán

FECHA Y HORA	LOCALIZACION	LATITUD °	LONGITUD °	PROFUNDIDAD (KM)	MAGNITU D	FECHA Y HORA UTC
2000-11-19 00:12:34	4 km al NORTE de URUAPAN, MICH	19.46	-102.07	63	4	2000-11-19 06:12:34
2000-11-19 20:39:08	10 km al NORTE de URUAPAN, MICH	19.52	-102.05	78	4.1	2000-11-20 02:39:08
2016-10-10 13:19:33	9 km al NORTE de URUAPAN, MICH	19.5107	-102.071	14	3.7	2016-10-10 18:19:33

I.3.8. Presencia de fallas o fracturas.

No se presentan fallas o fracturas geológicas en el polígono donde se localiza el predio, ni en sus alrededores, la más próxima se ubica a 8 kilómetros (*Figura 20*).

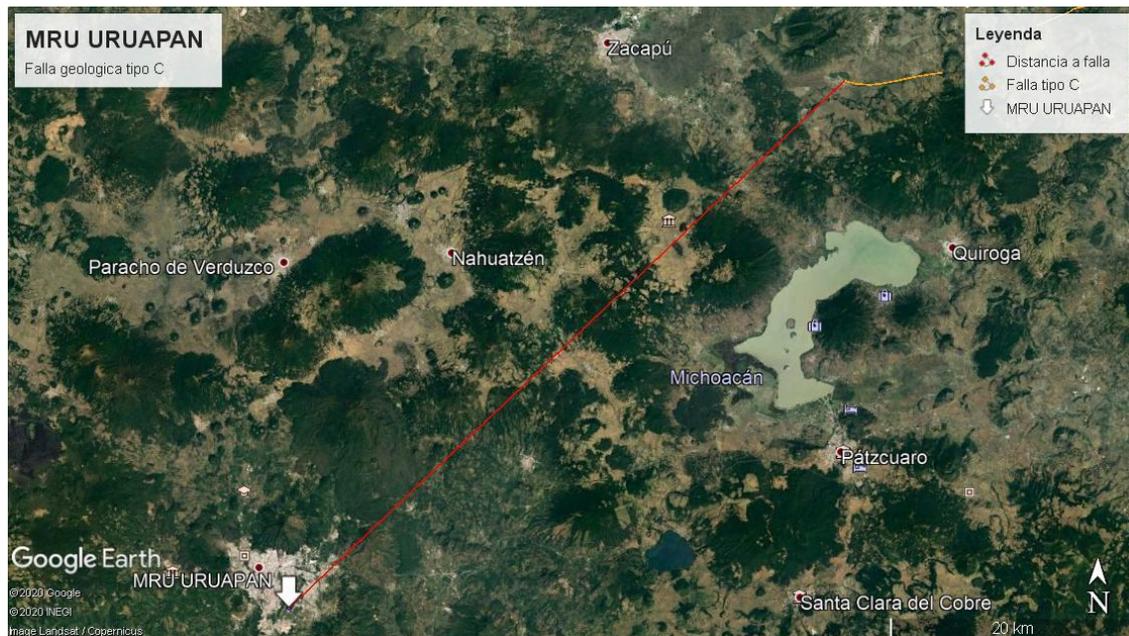


Figura 20. Falla geológica próxima al predio del Proyecto.

1.3.9. Edafología

En el municipio se identifican 6 unidades de suelo (Ver **Tabla 20**):

El suelo dominante es el Andosol 50.35% que se presenta en las sierras y mesetas, principalmente en la zona norte y centro del municipio. Este, tiene origen en la ceniza volcánica de las recientes erupciones volcánicas en la Meseta Tarasca, cuya densidad aparente es muy ligera (menos a 0.9 kg/Lts.), debido a su alta porosidad. En el municipio, la mayoría de estos suelos tienen baja fertilización natural y problemas de fijación de fosforo.

Tabla 20. Edafología de Uruapan

Suelo	Superficie km ²	%	Usos
Acrisol	1.33	0.13	Agricultura de subsistencia.
Acrisol	104.84	10.41	
Andosol	268.41	26.65	Agricultura de temporal tanto para granos básicos, maíz, trigo, cebada, como para cultivos permanentes como aguacate.
Andosol	29.36	2.92	
Andosol	205.25	20.38	
Andosol	4.06	0.4	
Cambisol	0.14	0.01	Agricultura y pastoreo.
Cuerpo de agua	0.21	0.02	
Feozem	9.17	0.91	Agricultura de riego o temporal, de granos, legumbres u hortalizas.
Litosol	190.48	18.92	Forestal, pastoreo más o menos limitado, agricultura, en especial al cultivo de maíz o el nopal.
Luvisol	121.62	12.08	Forestal, de aprovechamiento intensivo, agricultura y pastoreo.
Regosol	67.16	6.67	Agricultura de temporal, usos forestal y pecuario.
Regosol	0.98	0.1	
Vertisol	3.97	0.39	Cultivos perenes o semipermanentes.

Fuente: El Colegio de Michoacán, con datos generados a partir de la capa de edafología, escala 50 000, INEGI, 1983

Se utilizan principalmente para la agricultura de temporal, así también para cultivos permanentes como el aguacate (Programa Estatal de Ordenamiento Territorial de Michoacán de Ocampo, 2014). Los suelos andosoles forman parte de la subprovincia Neovolcánica tarasca, donde además se tiene la presencia de litosoles y cambisoles.

El predio donde se ubicará el Proyecto, estará ubicado en el área correspondiente a suelo tipo Andosol Umbrico (um). Ver **Figura 21. Edafología en el área del Proyecto. SIGEIA.** Figura 21.

Las características generales de esta unidad edafológica son las siguientes:

Un andosol es un suelo que se forma sobre cenizas, rocas, vidrios y otros materiales de origen volcánico. También se denomina suelo de cenizas volcánicas y es de color negro. Posee un alto contenido de materia orgánica y tiene una alta capacidad de retención de agua, así como de intercambio catiónico.

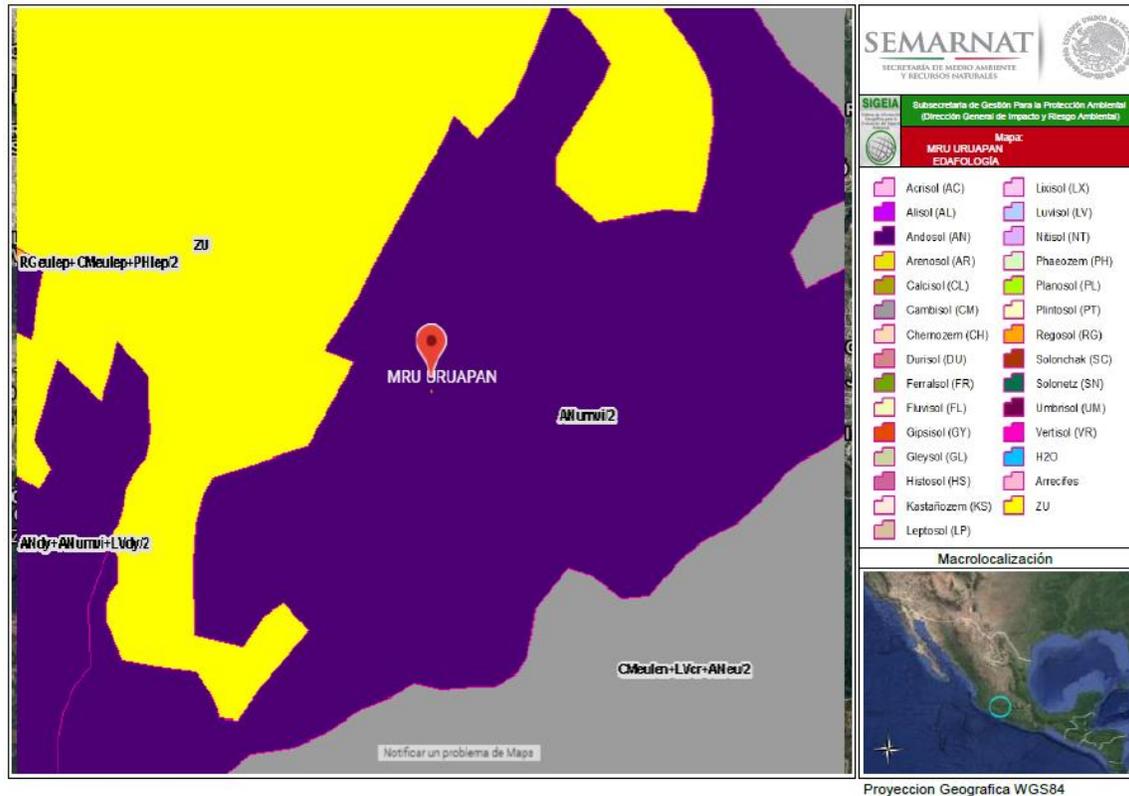


Figura 21. Edafología en el área del Proyecto. SIGEIA.

I.3.10. Hidrología superficial y subterránea.

El municipio se caracteriza por tener una presencia importante de recursos hídricos superficiales y subterráneos, a pesar de ello existe una sobreexplotación del recurso. El municipio pertenece a la Región Hídrica Hidrológica (RH18) Río Balsas, ocupando una superficie de 34, 293.79 km² dentro del estado, en ella se ubica la “Cuenca del Cupatitzio” y la cuenca No. 18-7 del río Tepalcatepec-Infiernillo, en esta última es donde incide el área del proyecto.

I.3.10.1. Hidrología Superficial

Entre las principales corrientes fluviales se destacan los ríos Cupatitzio, Paracho, San Lorenzo, La Parota, Itzúcuaro, Bajo Tepalcatepec, Mata de Plátano, Los Conejos, San Antonio, Chumbisto, Andagio y La Tiendita. Además, cuenta con la presa Caltzontzín y la cascada Tzaráracua (Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Uruapan Michoacán 2011-2033).

Las aguas superficiales del área de influencia del proyecto, están distribuidas la región hidrológica: RH18 “Río Balsas”. Cubre toda la superficie estatal y el sistema ambiental del proyecto (Tabla 21 y Figura 22):

Tabla 21. Hidrología del Municipio de Uruapan. (Prontuario de Información Geográfica Municipal)

Región hidrológica	Río Balsas (100%)
Cuenca	Río Tepalcatepec-Infiernillo (100%)
Subcuenca	Tiamba (100%)
Microcuenca	Caltzontzin

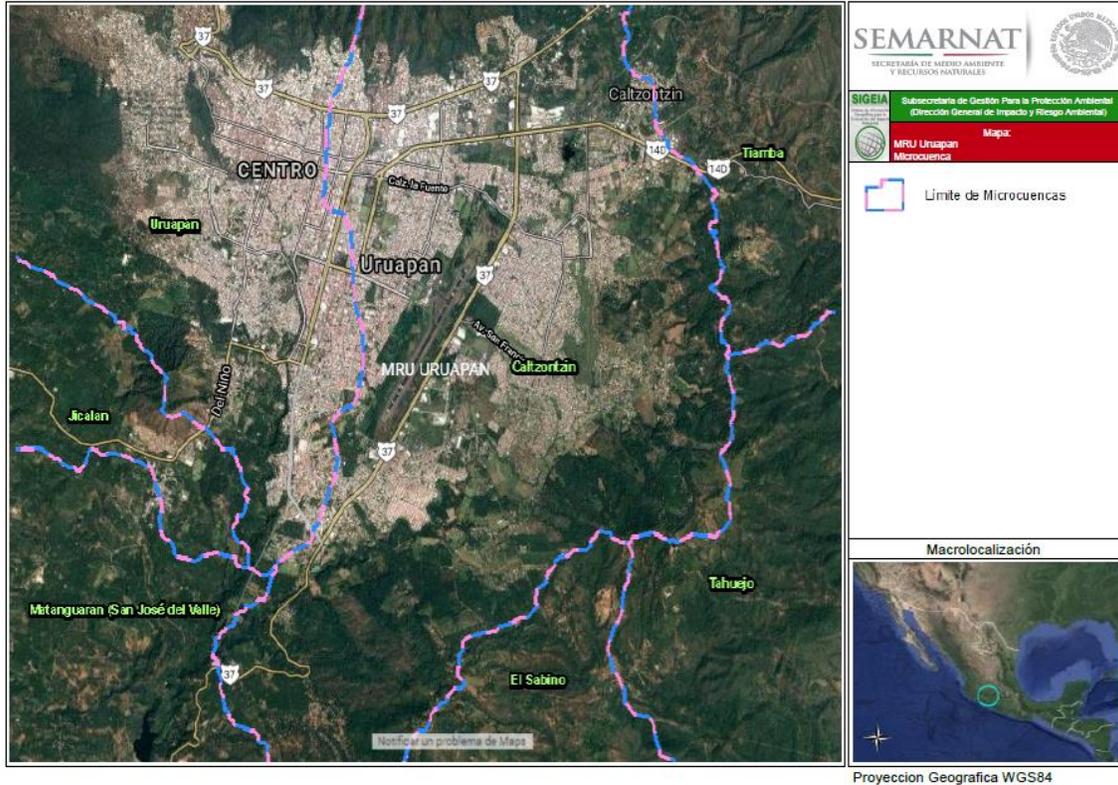


Figura 22. Microcuenca Caltzontzin donde incide el área del proyecto. SIGEIA.

El área del proyecto no cuenta con escurrimientos superficiales permanentes, sólo existen en sus alrededores barrancas que tienen agua estacionalmente o intermitente.

El Proyecto **NO** realizará descargas de aguas residuales a cuerpos de agua, por lo cual no genera un impacto adverso en la Hidrológica Superficial.

I.3.10.2. Hidrología subterránea

Los principales acuíferos que tiene el municipio son cuatro, de los cuales Uruapan es el que destaca con una mayor superficie y cuya disponibilidad de agua media anual es de 39.74 millones de metros cúbicos (MMm³) con una recarga de 97.3 (MMm³). En contraste se tiene Apatzingán, con menor presencia en el municipio, sin embargo, es la que tiene una mayor disponibilidad de agua media anual de 126.23 (MMm³), con una recarga de 494.4 (MMm³). Nueva Italia ubicada al este del municipio y Cotija ubicada al norte, cuya disponibilidad de agua es de 3.54 (MMm³), pero con una recarga de 134.8 (MMm³).

El área del proyecto se localiza en el Acuífero 1614 Uruapan, las actividades y procesos de la **MRU Uruapan**, **NO** contemplan actividades de explotación a acuíferos ni cuencas en ninguna de sus etapas, por lo cual no generara un impacto adverso en el acuífero Uruapan. (**Figura 23**)

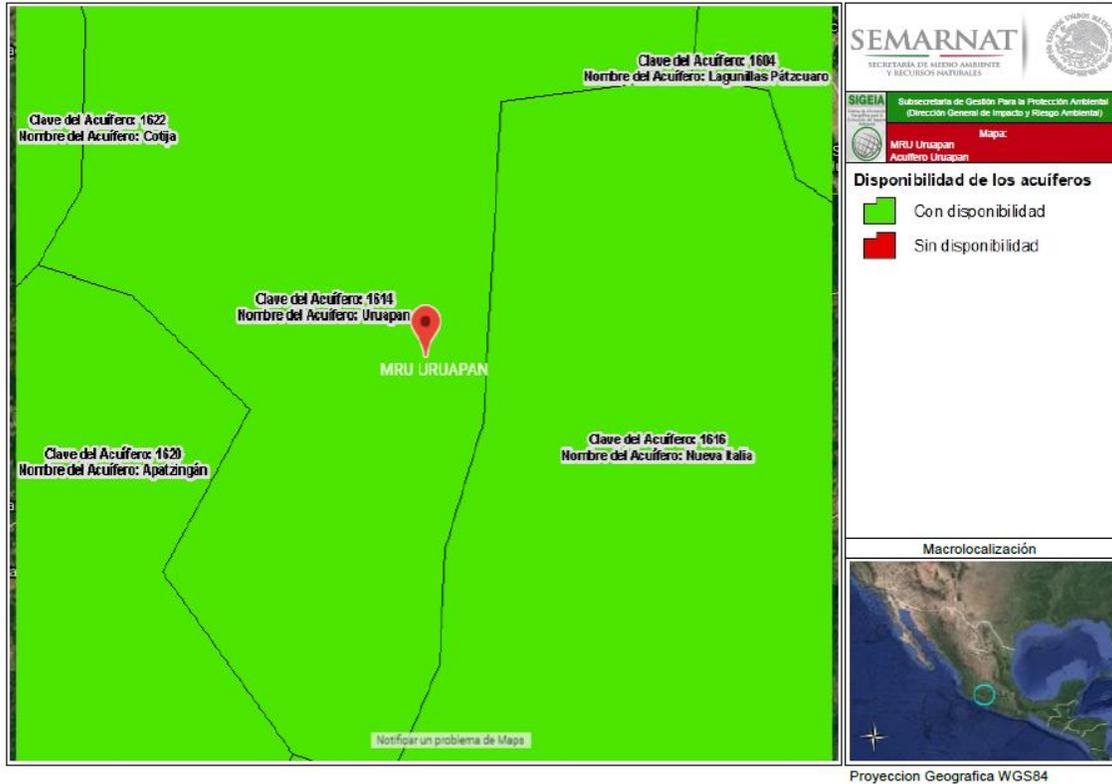


Figura 23. Acuífero Uruapan donde incide el área del proyecto MRU Uruapan. SIGEIA

I.3.11. Flora y fauna

Es de establecer que el área de influencia del proyecto, está dentro de la zona urbana de Uruapan, Michoacán, que se encuentra completamente urbanizado, que no se tienen elementos físicos naturales desde hace décadas, no es un área de reserva, no es área natural protegida, no se tiene flora o fauna naturales,

La vegetación y la fauna del sitio y área de influencia es reducida, presentándose de manera escasa y dispersa, y las especies identificadas no están en alguna categoría de riesgo de las referidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

La zona está completamente urbanizada, la flora la constituyen las áreas verdes que se preservan para ornato y ambientación de la ciudad.

La zona está completamente urbanizada, la flora la constituyen las áreas verdes que se preservan para ornato y ambientación de la ciudad (Ver **Figura 24**).

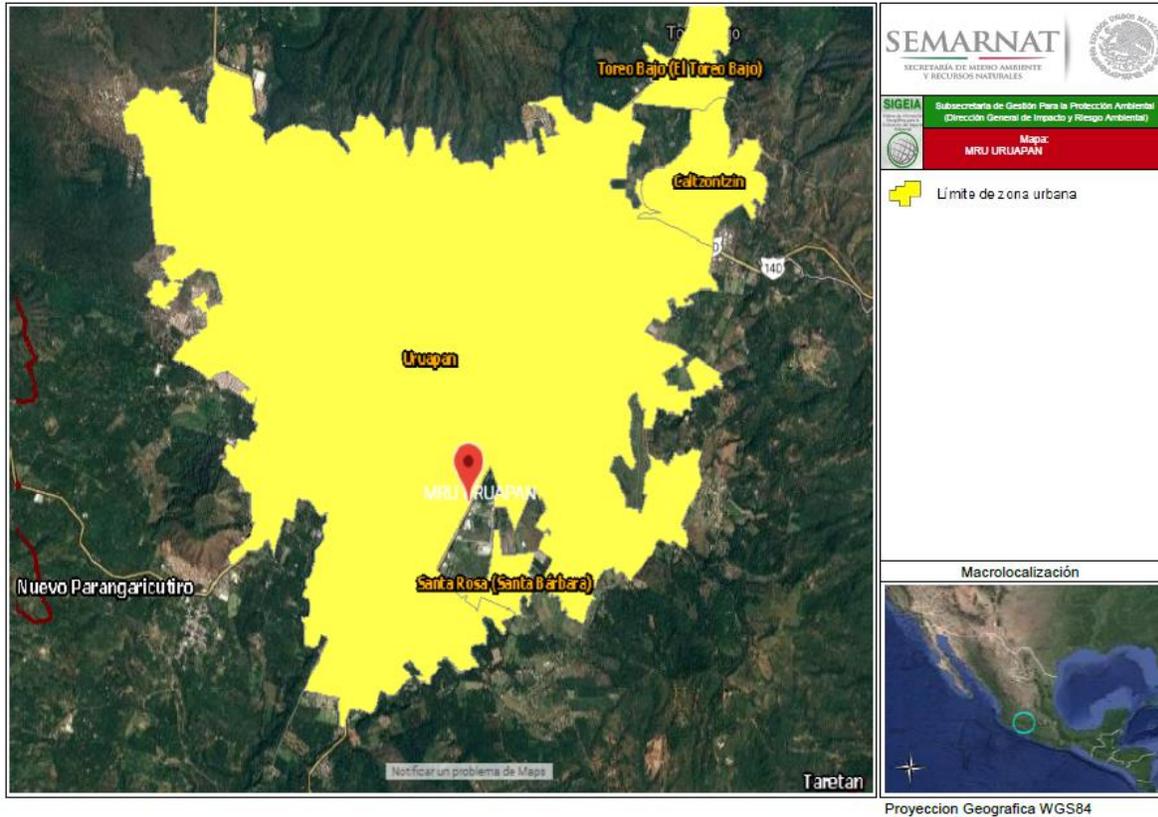


Figura 24. Zona Urbana donde se ubica el área del proyecto. SIGEIA.

I.3.12. Áreas naturales protegidas

El predio en donde se localiza el Proyecto como el radio perimetral no se encuentran dentro de áreas naturales protegidas de carácter federal o estatal y tampoco de otras áreas de relevancia ambiental.

El Área Natural Protegida más cercana es la Barranca del Cupatitzio, a una distancia de 5 km y 6 Km aproximadamente del límite del predio (**Figura 25**).

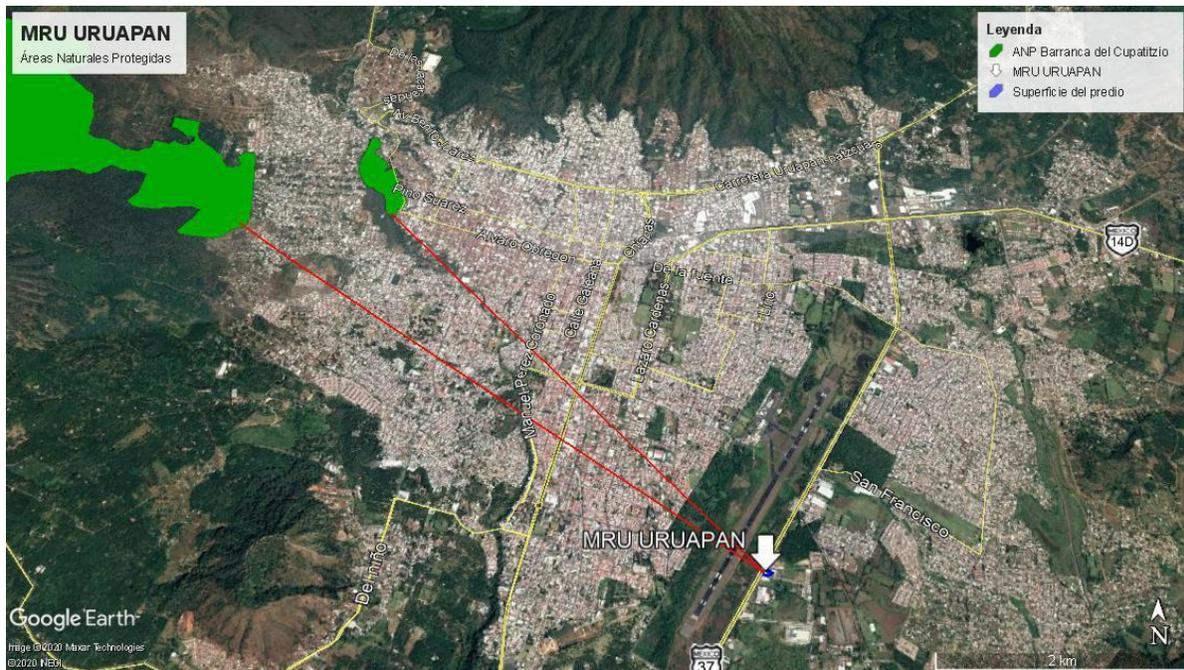


Figura 25. Ubicación del Proyecto con respecto al ANP Barranca del Cupatitzio.

En el Estado de Michoacán se cuentan con 58 Áreas Naturales Protegidas (ANP), tanto de competencia federal como estatal. A nivel federal, desde el año de 1936, a través de decretos se declararon ANP con diferentes categorías: Parques Nacionales, Reservas de la Biosfera, Zonas Protectoras Forestales, Áreas de Protección de flora y Fauna, etc. La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas reconoce y tiene delimitadas 11 ANP en el Estado de Michoacán.

A nivel federal, el municipio de Uruapan tiene uno de los seis parques nacionales, que lleva por nombre Barranca del Cupatitzio, el cual fue decretado el 2 de noviembre de 1938 con una superficie de 362 hectáreas, donde el tipo de vegetación es de Bosque de pino y pino-encino. A pesar de ser una ANP, ha presentado problemáticas por el desarrollo urbano, tala clandestina, cacería ilegal, incendios, forestales, especies invasoras y plagas, introducción de especies exóticas, erosión, degradación de suelos, contaminación de agua, suelo y tráfico ilegal de especies.

La Barranca de Cupatitzio es conocida como el Parque Nacional Barranca de Cupatitzio, cuenta con 454.86 hectáreas, fue decretado como parque nacional el 2 de noviembre de 1938 y en el 2007 fue publicado su programa de manejo, instrumento mediante el cual es regulada su administración y operación. Forma parte de un importante corredor biológico situado entre el Pico de Tancítaro y la zona forestal de Uruapan (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016).

I.4. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS

I.4.1. Histórico de accidentes e incidentes en instalaciones similares

El histórico de accidentes es una base de datos de los accidentes que han ocurrido en instalaciones similares a la que se está analizando, con ayuda de ella se puede llevar a cabo un Análisis Frecuencia de la periodicidad con la presentan los distintos tipos de accidentes, así como la búsqueda de los agentes que pudieron cuásar dichos eventos, revisando las condiciones de seguridad y operación en las instalaciones existentes, lo que nos lleva a mejorar sustancialmente los diseños y procedimientos de operación y seguridad.

El Análisis Histórico de Accidentes es una herramienta de identificación de riesgos que hace uso de los datos recogidos del pasado de accidentes ocurridos en instalaciones similares y permite vislumbrar el potencial riesgo que tiene la MRU Uruapan.

Sin embargo, en México la cultura de previsión de accidentes no ha alcanzado mecanismos que permitan tener trazabilidad sobre los distintos accidentes que ocurren, incluso la búsqueda de las causales no se realiza o se obvia, dificultando el Análisis del Histórico de Accidentes, sin embargo, hay estadísticas que indican que el mayor número de emergencias relacionadas con la liberación de sustancias altamente riesgosas, tienen que ver con el uso inadecuado del gas a nivel doméstico y se deben en mayor medida por la falta de mantenimiento en instalaciones y aparatos; en segunda instancia se tiene a la distribución del gas por parte de compañías quienes transportan el hidrocarburo por medio de autotanques (pipas) a domicilio.

Consultando bases datos de diversas fuentes, se ha detectado que es muy poca la información disponible respecto a accidentes ocurridos durante operaciones de suministro y/o manipulación de gas natural en Estaciones de Servicio. De acuerdo a ello, se presenta a en la **Tabla 23** se muestra el detalle de un accidente ocurrido en una estación de llenado de contenedores, el cual, a pesar de no haber ocurrido en una estación de servicio, guarda cierta relación con el proyecto en evaluación. De igual manera se reafirma el compromiso por parte del promovente de reportar y asentar en bitácora de operación, la ocurrencia de estos eventos.

Tabla 22. Detalle de accidente en una estación de llenado de contenedores

Año	Ciudad o País	Instalación	Sustancias involucradas	Evento	Causa	Nivel de afectación (componentes ambientales dañados)	Acciones realizadas para su atención
2012	San Miguel Xoxtla.	Contenedores con Cilindros de GNC	Gas Natural	Estallido/e Incendio	Falla en sistema de carga de tanques para transporte.	Emisión de partículas derivadas de la combustión de los contenedores.	Cierre de Válvulas de control, Extinción de Incendio, Evacuación y ventilación.

Fuente: (Sánchez, Andrés; Agencia Reforma, 2012) Sánchez, Andrés; Agencia Reforma. (13 de Novimebre de 2012). Explota Gasera en Puebla y deja 3 personas heridas. . El Sur. Periodico de Guerrero. Recuperado el 05 de Septiembre de 2017, de <http://suracapulco.mx/6/explota-gasera-en-puebla-y-deja-tres-personas-heridas/>

El análisis de este accidente ha sido tomado como referencia para el diseño del proyecto en evaluación, especialmente la adopción de sistemas de control y detección de desviaciones en el suministro de gas natural.

Estadísticamente, este tipo de sistemas de transportación de gas natural cuenta con un buen nivel de seguridad. La posibilidad de ocurrencia de un accidente en este tipo de actividades se puede considerar relativamente mínima si se toma en cuenta la experiencia de la empresa, las condiciones de operación del proceso, y las medidas de seguridad que se adoptarán.

Sin embargo, el manejo de gas natural, y de hidrocarburos en general en cantidades por arriba de la cantidad de reporte, entrañan un alto riesgo de accidentes potenciales.

El manejo y distribución de gas natural se considera una actividad de alto riesgo, de acuerdo con lo señalado en el Segundo Listado de Actividades Altamente Riesgosas (Diario Oficial de la Federación del 4 de mayo de 1992), cuya cantidad de reporte es de 500 kilogramos.

Es necesario tener siempre presente que muchos accidentes se han producido en empresas que manejan todo tipo de productos, ocasionados generalmente por falta de conciencia, exceso de confianza o por descuido.

En la Tabla 23 se presenta los antecedentes de accidentes e incidentes involucrados con el uso del gas natural.

Tabla 23. Antecedentes de accidentes e incidentes involucrados con el uso del gas natural

Año	Ciudad - País	Instalación	Sustancia Involucrada	Evento	Causa	Nivel de Afectación (componentes ambientales afectados)	Acciones realizadas para su atención
1944	USA	Instalación base de recepción en tierra	Gas Natural	Explosión	Se cambió el tanque contenedor debido a una fisura, el tanque nuevo tenía un defecto estaba hecho de bajo contenido de níquel y aleación de acero, el níquel es conocido que es susceptible a muy bajas temperaturas.	12.15 hectáreas Fueron afectadas severamente, invasión de nubes de vapor de gas.	Respuesta emergencias, bomberos y servicios médicos
1964	Argelia	Barco de Almacenaje	Gas Natural	Fugas e incendio	Un rayo cayó sobre el elevador de ventilación delante de la nave, se liberó vapor y hubo una pequeña ignición.	Invasión de nubes de vapor de gas.	Purga de nitrógeno y aire sobre la línea vertical de la conexión.
1965	Inglaterra	Tanque de almacenaje	Gas Natural	Incendio	Vapores generados durante el mantenimiento.	Invasión de nubes de vapor de gas.	Respuesta emergencias, bomberos y servicios médicos.
1968	USA	Tanque de almacenaje	Gas Natural	Explosión	Accidente por un aislamiento inadecuado de presión.	Invasión por nubes de vapor de gas.	Respuesta emergencias, bomberos y Servicios médicos
1971	Italia	Tanque de almacenaje	Gas Natural	Daños a la	“Roll-over” repentino incremento en la	Invasión de gas en el	Respuesta a Emergencias

Tabla 23. Antecedentes de accidentes e incidentes involucrados con el uso del gas natural

Año	Ciudad - País	Instalación	Sustancia Involucrada	Evento	Causa	Nivel de Afectación (componentes ambientales afectados)	Acciones realizadas para su atención
				estructura del tanque	presión del tanque.	ambiente.	
1979	USA	Punto de Cobertura de la subestación eléctrica	Gas Natural	Explosión	Inadecuado cerrado de la bomba eléctrica de gas para sellar el flujo.	Vapor de gas y humo en el ambiente.	Respuesta emergencias, bomberos y servicios médicos.
1989	Inglaterra	Bombas de distribución	Gas Natural	Incendio	Una válvula no cerrada	Incendio afectando 40 mts., humo al ambiente.	Respuesta emergencias, bomberos y servicios médicos.
1993	Indonesia	Línea de distribución	Gas Natural	Equipo y estructura dañado	Apertura de una línea durante el proyecto de modificación de un tubo.	Daños menores al suelo.	Respuesta emergencias
2003	México	Ducto de gas natural	Gas Natural	Explosión	Explosión del ducto de gas natural cercano de la ciudad de Mendoza, en investigación.	Daño a los alrededores y humo.	Respuesta emergencias, protección civil y servicios médicos.
2004	Argelia	Sistema de refrigeración	Gas Natural	Explosión	Se rompe el sistema de refrigeración y provoca incremento de temperatura vaporizadora.	Humo al ambiente e incendio alrededor de la planta.	Respuesta emergencias, bomberos y servicios médicos
2006	Malasia	Sistema de compresor de gas propano de la turbina del primer tren	Gas Natural y gas propano	Incendio	Se rompió la estructura entre la cabeza y el tubo con las perillas para la recolección de gas natural.	Humo al ambiente	Respuesta emergencias
2007	México	Plataforma de Petróleos Mexicanos (PEMEX)	Gas natural y crudo de petróleo	Incendio y explosión	El choque de la plataforma Usumacinta con la Kab 101, cuando el frente frío número 4 provocó rachas de viento de hasta 130 Km por hora y olas ente 6 y 8 metros de altura. El mal tiempo en las aguas del golfo de México ocasionó que la plataforma auto elevable Usumacinta, que realizaba labores de interconexión para perforar el pozo Kab 103, rompió el árbol de válvulas de la Kab 101, lo	Afectación y contaminación de las aguas marinas.	Respuesta emergencias, marina y servicios médicos.

Tabla 23. Antecedentes de accidentes e incidentes involucrados con el uso del gas natural

Año	Ciudad - País	Instalación	Sustancia Involucrada	Evento	Causa	Nivel de Afectación (componentes ambientales afectados)	Acciones realizadas para su atención
					que originó un derrame de petróleo crudo y gas natural asociado		
2008	México	Ducto de gas	Gas Natural	Incendio	Golpe accidental al ducto por parte de los trabajadores, producto de una perforación para un puente vehicular.	Humo al ambiente	Respuesta emergencias, protección civil y servicios médicos.
2011	España	Cisterna	Gas Natural	Explosión	Accidente automovilístico en una curva	Afectación al talud de tierra y roca en la carretera	Respuesta emergencias, bomberos
2012	México	Instalación de extracción	Gas Natural	Explosión	Accidente donde explotó parte de las instalaciones de PEMEX, los encargados fueron los técnicos especializados de PEMEX exploración y producción, no hay detalles	Afectación de los terrenos aledaños a las instalaciones	Respuesta emergencias, protección civil y servicios médicos.
2013	México	Ducto de gas natural	Gas Natural	Explosión	Accidente causado al perforar un ducto de 10 pulgadas de diámetro por trabajadores de la construcción del puente vehicular del circuito exterior mexicano.	Afectación alrededor, humo y fuego	Respuesta emergencias, bomberos, protección civil y servicios médicos.
2014	México, ZMMTY	Ducto de gas natural	Gas Natural	Incendio	Ocurrió una fuga en la zona hotelera del municipio de San Pedro Garza García, debido a tierra reblandecida por una fuga de agua que originó un colapso de la tubería por el paso constante de vehículos.	Afectación a instalaciones hoteleras, y generación de humos.	Respuesta emergencias y protección civil.

I.4.2. Identificación de peligros y de escenarios de riesgo

I.4.2.1. Justificación técnica de la metodología de riesgos empleada

A fin de identificar los potenciales peligros y/o riesgos asociados a la MRU de GNV consideraremos los equipos, procesos, herramientas, y la sustancias que se manejan para llevar a cabo la distribución de gas natural revisando los puntos en los que se considera se pueda presentar una liberación de sustancia o la potencial ocurrencia de incidentes que puedan generar escenarios de riesgo en: maquinaria o equipos, procesos, operaciones, instalaciones, equipos de seguridad, etc.

Para el tipo de instalación que nos ocupa realizaremos la identificación de riesgos potenciales por equipos y sustancias que se manejan en el Proyecto (*Tabla 24y Tabla 25*).

Los riesgos pueden ser generados por su ubicación, operación, falla del equipo o mantenimiento.

Tabla 24. Identificación de riesgos asociados a sustancias y materiales peligrosos

Sustancias y materiales peligrosos	Incendio	Explosión	Derrame	Inflamabilidad, Nube tóxica o asfixiante
Gas natural	✓	✓	X	✓

✓: Existe la posibilidad de riesgo; X: No existe posibilidad de riesgo.

Los riesgos están asociados a la liberación del combustible líquidos forma continua o masiva, dando paso a la formación de albercas de fuego (pool fire), incendio y/o atmósferas flamables.

Tabla 25. Identificación de riesgos asociados al proceso

Actividad	Incendio	Explosión	Derrame	Inflamabilidad, Nube tóxica o asfixiante
Trasvase, transferencia de combustibles y sustancias líquidas	✓	✓	X	✓
Almacenamiento	✓	✓	X	✓

✓: Existe la posibilidad de riesgo; X: No existe posibilidad de riesgo.

Los riesgos están asociados a la liberación de gas de forma continua o súbita, por potenciales fallas durante la operación.

En la Tabla 26 se muestra el manejo de Sustancias clasificadas como peligrosas en general presentan características que pueden desarrollar sucesos no deseados por su transporte y almacenamiento, los sucesos iniciadores, propagación, mitigación y medidas de prevención generales pueden ser (*Información adaptada del libro “BATTELLE COLUMBUS DIVISION-AICHE/CCPS”: Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, American Institute of Chemical Engineers. Nueva York (1985)” y tomada del libro “Análisis y reducción de riesgos en la industria química, fundación MAPFRE, J.M. Santamaría Ramiro y P.A. Braña Aísa*):

Tabla 26. Identificación de riesgos por manejo de sustancias peligrosas

Características Peligrosas	Sucesos Inicadores	Circunstancias Propagadoras	Circunstancias Mitigantes	Consecuencias del Accidente
Manejo de cantidades de sustancias peligrosas (materiales inflamables, combustibles, inestables o tóxicos, gases inertizantes materiales a muy alta o baja temperatura, etc.).	Fallos de contención (tuberías, juntas, soldaduras etc.) Errores humanos (Operación mantenimiento, revisiones). Pérdida de servicios Agentes de externos (Inundaciones, terremotos, tormentas, vientos fuertes, impactos, sabotajes, etc.). Errores de método o información.	Fallos de contención (Tuberías, recipientes, tanques juntas, fuelles, entrada o salida de venteo, etc.). Ignición, explosión. - Errores del operador (Comisión, omisión, diagnóstico, toma de decisiones). - Agentes externos. - Errores de método o de información	Respuestas de control, respuestas de los operadores. Operaciones de emergencia (alarmas, procedimientos de Emergencia, equipos de protección personal, evaluación, etc.). Agentes externos. Flujo adecuado de información	- Fuegos - Explosiones - Impactos - Dispersión de materiales tóxicos.

La mayor concentración de material peligroso, corresponden a los puntos de alto riesgo que se enlistan a continuación.

1. Compresor.
2. Cilindros de almacenamiento
3. Dispensadores

I.4.2.2. Selección de técnica de identificación de riesgos

La selección de la metodología para la identificación de riesgos se basó en la guía sugerida por el Centro de Seguridad en Procesos Químicos (CCPs) del Instituto Americano de Ingenieros Químicos (AIChE) publicada bajo el título de Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, segunda edición con ejemplos desarrollados, 1995.

También se consideró el procedimiento *DG-SASIPA-SI-02741 Rev. 3 “Guía para Realizar Análisis De Riesgos”* que señala que la identificación de riesgos se puede llevar a cabo mediante las siguientes metodologías de acuerdo a criterios que se indican en la Tabla 27:

Tabla 27. Típico de las metodologías de acuerdo a la etapa del Proyecto

Método de análisis de riesgos								
Etapa de desarrollo del Proyecto	Lista de verificación	¿Qué pasa sí?	¿Qué pasa sí? / Lista de verificación	FMEA	HAZOP	AAE	AAF	AC
Investigación y desarrollo		✓	✓					
Diseño conceptual	✓	✓	✓					
Operación de la MRU	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ingeniería de detalle	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Construcción y arranque	✓	✓	✓		✓			
Operación rutinaria	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Expansión o modificación	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Desmantelamiento	✓	✓	✓					
Investigación de accidentes	✓			✓	✓	✓	✓	✓

FMEA: Failure Mode and Effect Analysis (AMEF: Análisis de modos de fallas y efectos), **HAZOP:** Hazard and Operability Analysis (Análisis de peligros y Operabilidad); **AAE:** Análisis de Árbol de eventos; **AAF:** Análisis de Árbol de Fallas; **AC:** Análisis de Consecuencias.

Con base a los criterios antes mencionados en la *Tabla 30* y el tipo de operaciones que se llevan a cabo aplicaremos la metodología **¿Qué pasa si...?** considerando que es la técnica adecuada para la identificación, evaluación y jerarquización de Riesgos Potenciales que podría presentar el Proyecto.

I.4.2.2.1. Metodología ¿Qué pasa sí?

La técnica ¿Qué pasa sí? es un enfoque en el que un grupo de personas (equipo multidisciplinario) con experiencia y familiaridad con el proceso en cuestión, hacen preguntas y comparten sus preocupaciones acerca del potencial de eventos no deseados. Esta técnica no es tan estructurada como el Hazop y FMEA, y requiere que el analista adapte el concepto básico del análisis a la aplicación específica. A pesar de que existe muy poca información acerca de la técnica ¿Qué pasa sí? o de sus aplicaciones, esta se utiliza frecuentemente en la industria del proceso de hidrocarburos en casi todas las etapas de la vida del proceso y ofrece muy buenos resultados.

El concepto de la técnica ¿Qué pasa sí? promueve tormentas de ideas que animan al equipo a pensar en preguntas del tipo ¿Qué pasa sí? Es decir, esta técnica promueve las tormentas de ideas acerca de escenarios hipotéticos con el potencial de causar consecuencias de interés (eventos no deseados con impactos negativos). Sin embargo, cualquier preocupación acerca de la seguridad del proceso puede ser compartida con el equipo de análisis, aunque quizá esta no esté estructurada en forma de una pregunta.

El propósito de esta técnica es identificar y evaluar los peligros inherentes durante la descarga de Gasolinas y Diésel que es desde la conexión con el Carro-tanque hasta la entrada a la bomba que envía producto a la sección de medición y llenado y en donde la presión de operación es la atmosférica, las situaciones peligrosas (es decir, aquellas que involucran al ser humano), o los eventos específicos de accidentes con el potencial de causar consecuencias no deseadas. El equipo de análisis de riesgos en los

procesos identifica situaciones potenciales de accidentes, sus consecuencias y las salvaguardas, para luego sugerir las alternativas para la reducción de riesgo. La técnica ¿Qué pasa sí?, puede involucrar el análisis de las desviaciones posibles del diseño, construcción, modificación u operación; además requiere un entendimiento básico de la intención del proceso, así como la habilidad de combinar las desviaciones con el potencial de causar un accidente. Este puede ser un procedimiento poderoso si los miembros del equipo son realmente experimentados, de lo contrario, los resultados tenderán a ser incompletos, debido a su esencia no estructurada.

En la Figura 26 se muestra el diagrama de flujo típico para la aplicación de la metodología ¿Qué pasa sí?.

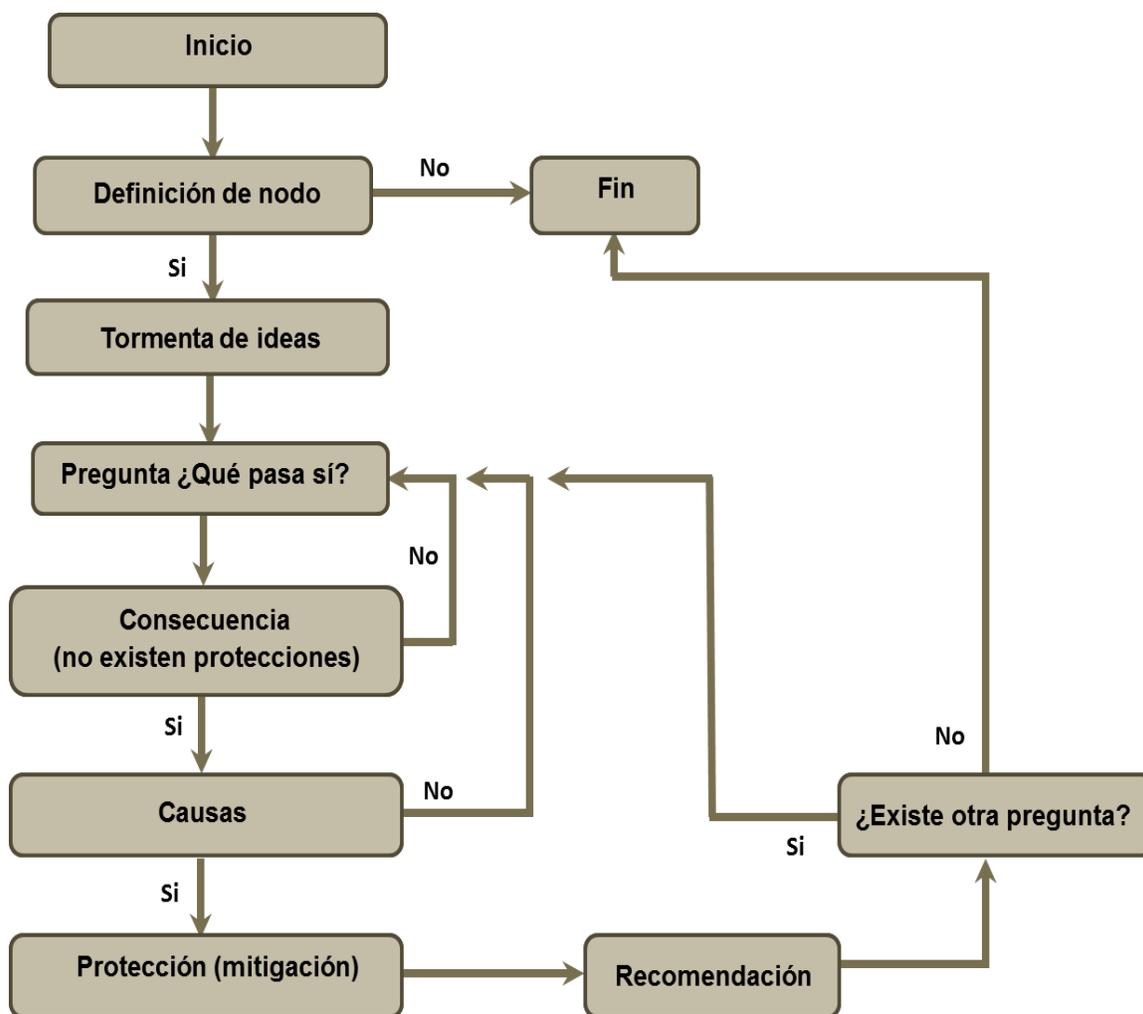


Figura 26. Diagrama de flujo para aplicación de Metodología ¿Qué pasa sí?.

I.4.3. Desarrollo y resultados de la o las metodologías de riesgos

Derivado de la inducción a las metodologías **¿Qué pasa sí...?** el grupo dividió las instalaciones (Figura 27) en subsistemas:

- **Subsistema 1** Compresor
- **Subsistema 2** Cilindros de almacenamiento
- **Subsistema 3** Dispensadores

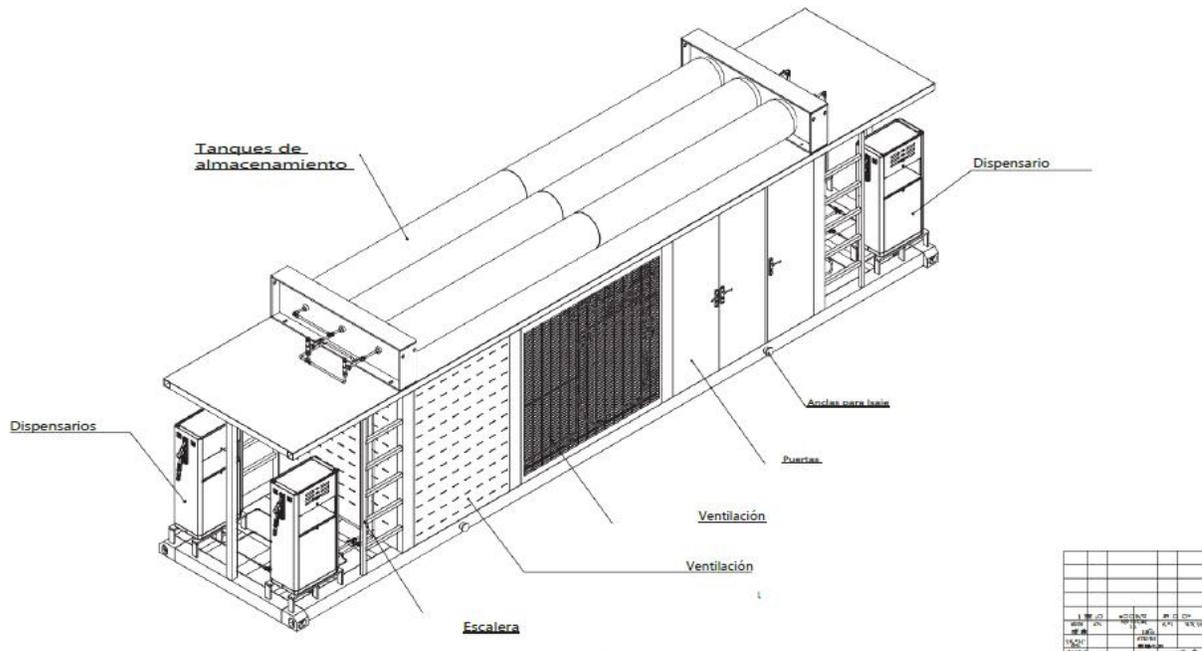


Figura 27. Diagrama general del equipo SRISEN ENERGY CNG KLOIS.

Se consideraron los siguientes supuestos para el caso de la aplicación de **¿Qué pasa sí...?**:

Sección 1 Compresor	
1.1	Qué pasa si falla el controlador de flujo
1.2	Qué pasa si no funciona el sistema de enfriamiento por agua/glicol
1.3	Qué pasa si se cierra la válvula de alivio
1.4	Qué pasa si Falta mantenimiento
Sección 2 Cilindros de almacenamiento	
2.1	Qué pasa si no se tiene nivel
2.2	Qué pasa si se presenta corrosión o erosión

Sección 3 Dispensadores	
3.1	Qué pasa si Se tiene incremento de presión en el despacho de GNV
3.2	Qué pasa si Mayor flujo en el despacho de GNV
3.3	Qué pasa el Equipo de protección personal no es utilizado

Las hojas de trabajo del desarrollo de la metodología ¿Qué pasa sí? se incluyen en el **Anexo D**.

I.4.4. Evaluación y jerarquización de escenarios de riesgo

Durante la aplicación de las metodologías de identificación de riesgos se elaboró de forma simultánea el proceso de jerarquización de los eventos identificados, con objeto de seleccionar los postulados finales sobre los que se proseguirá el Análisis de Consecuencias, así como para definir aquellos que, estando en una situación de riesgo intermedia, deben ser cuestionados sobre la justificación o no de la implementación de las recomendaciones.

I.4.4.1. Matriz de jerarquización de riesgos

Para la jerarquización de los escenarios de riesgo, se empleó la Matriz de Riesgos, la cual permite categorizar los eventos que pueden presentarse, asignando un índice de frecuencia y un índice de severidad, tomando al producto de los dos factores para llegar a un índice de riesgo individual.

El índice de frecuencia es determinado por apreciación en vez de realizarlo de una forma rigurosa.

El índice de severidad se determina en función a la estimación de consecuencias.

Debido a que la asignación de los índices es por apreciación, se están tomando los criterios mencionados en la Tabla 28.

Tabla 28. Criterios de índice de frecuencia

Nivel	Categoría	Descripción
4	Frecuente	El evento se ha presentado o puede presentarse en el periodo de 1 a 5 años
3	Probable	Puede ocurrir al menos una vez en la vida de las instalaciones.
2	Poco probable	Concebible: nunca ha ocurrido en el centro de trabajo, pero puede haber ocurrido en instalaciones similares.
1	Remoto	Esencialmente imposible, no se espera que ocurra durante el tiempo de vida de la instalación

Es importante señalar que los valores de frecuencia son supuestos de manera empírica para cada uno de los nodos seleccionados, puesto que aún no se tienen datos reportados de eventos ocurridos en la instalación que permitan obtener valores de frecuencia reales.

Por otro lado, para obtener los índices de severidad se usan los criterios descritos en la Tabla 29.

Tabla 29. Criterios para asignar los índices de severidad

Valor	Categoría	Niveles de Severidad (consecuencias)
1	Leve	Que resulta en problemas operacionales o daños sencillos, sin daños a la propiedad o a la salud de los trabajadores
2	Moderado	Que resulta en problemas operacionales con interrupción del trabajo, con daños leves a la instalación y al personal de la planta.
3	Grave	Que resulta en daños múltiples a la planta, que causan interrupción operacional y daños incapacitantes a los operadores, y puede originar alarma entre la comunidad vecina.
4	Catastrófico	Que resulta en daños graves a las instalaciones y muertes de los operadores, ocurre afectación al medio ambiente y daños a la propiedad vecina.

La matriz de riesgo (Figura 28) representa en forma gráfica la ponderación de riesgo que pueden tomar cada uno de los escenarios. Se definen cuatro regiones que indican el tipo de riesgo que tiene el escenario y las acciones que se deben llevar a cabo.

FRECUENCIA	FRECUENTE (F4)	B	B	A	A
	PROBABLE (F3)	C	B	B	A
	POCO PROBABLE (F2)	D	C	B	A
	REMOTO (F1)	D	D	C	B
		LEVE C1	MODERADA C2	GRAVE C3	CATASTRÓFICA C4
SEVERIDAD					

Figura 28. Matriz de riesgos

Con los índices de frecuencia y severidad, se calcula el índice de riesgo de la siguiente forma:

$$\text{Índice de Riesgo} = \text{Índice de frecuencia} \times \text{Índice de severidad}$$

Con dicho índice de riesgo se dirige a la matriz para categorizar el riesgo y determinar su peligrosidad, de acuerdo a lo siguiente (Tabla 30):

Tabla 30. Categoría de Riesgo y descripción de la peligrosidad

Categoría	Escala numérica	Descripción de la Peligrosidad
D	1 - 3	MUY POCO PELIGROSO (ACEPTABLE). Riesgo generalmente aceptable; no se requieren medidas de mitigación y/o abatimiento
C	4 - 6	PELIGROSO (ACEPTABLE CON CONTROLES). Deben tomarse medidas para reducir la posibilidad de que se presente.
B	8 - 9	MODERADAMENTE PELIGROSO (ACEPTABLE CON CONTROLES). Riesgo aceptable, sin embargo, se deben revisar tanto procedimientos de ingeniería, operativos como administrativos y en su caso modificar en un período a mediano plazo.
A	12 - 16	ALTAMENTE PELIGROSO (NO ACEPTABLE). Riesgo que debe disminuirse de forma inmediata. Se deben revisar tanto procedimientos de ingeniería, operativos como administrativos y en su caso modificar de inmediato.

Estos mismos datos y valores fueron tomados para realizar el análisis ¿Qué pasa sí? en la herramienta de SCRI 2.5 el cual se anexa de manera documental como la corrida del software para una mayor determinación de los resultados.

I.4.4.2. Identificación de escenarios más probables y peor caso

Con la aplicación de la metodología ¿Qué pasa sí...? se identificaron **3 escenarios con de Riesgo Tipo “D” Muy poco peligroso (Aceptable); 5 escenarios de Riesgo del Tipo “C” Peligroso (Aceptable con controles) con controles y 10 de riesgo “Tipo “B” Moderadamente peligroso (Aceptable con controles) tipo “B”** (Figura 29).

FRECUENCIA	ALTA (F4)	B	B	A	A
	MEDIA (F3)	C	B 2.1.1	B 1.3.1, 1.3.2, 1.3.3,	A
	BAJA (F2)	D	C 1.1.2,	B 1.1.3,	A
		1.1.1, 2.2.1, 3.2.1	2.2.2, 3.1.1, 3.2.2	1.2.1, 2.2.3, 3.1.1, 3.2.3	
	REMOTA(F1)	D	D	C 1.4.1	B 1.4.2
		Leve	Moderada	Grave	Catastrófica
		C1	C2	C3	C4
CONSECUENCIA					

Figura 29. Distribución de escenarios de riesgos ¿Qué pasa sí...?

De acuerdo a lo anterior tenemos que el nivel de riesgo del Proyecto **es aceptable con controles**, los escenarios de riesgos están asociados al suministro y despacho de GNV.

I.4.4.2.1. Potenciales escenarios de riesgos identificados.

Derivado de la metodología aplicada se identificó que los escenarios potenciales de riesgo están asociados a la liberación de GNV y que por la cantidad que se libere sus potenciales afectaciones pueden generar daños a otros equipos o áreas del predio en donde se ubica el Proyecto y/o a las instalaciones que se encuentran colindantes.

Para el fin de este estudio, se contemplaron los riesgos que pudieran causar afectaciones al entorno de las instalaciones y aquellos riesgos que solamente representen problemas operacionales, que afecten la continuidad o eficiencia de los procesos, como es el paro de equipos o alguna actividad similar.

Como puede observarse, los riesgos que pudieran presentarse van desde fugas por rotura en tuberías, fugas por aumento de presión y temperatura, hasta incendio y explosión y, en todos los casos, ocasionados posiblemente por:

1. falta de procedimientos
2. no seguir los procedimientos de manejo del gas natural
3. falta de capacitación
4. programa de mantenimiento incompleto
5. fallas en la ejecución del programa de mantenimiento
6. negligencia.
7. Daño por terceros

La falta de programas de mantenimiento, el incumplimiento de los mismos o la deficiencia en su aplicación por falta de capacitación de los trabajadores se refleja en un posible riesgo que puede llegar a ser grave si su insuficiencia es recurrente. Es importante disponer de un programa que contemple actividades preventivas y acciones que preserven la correcta operación y mantenimiento de tanques, tuberías, accesorios y equipos auxiliares. Estos riesgos son fácilmente evitables con procedimientos de seguridad y prevención, programas de monitoreo y detección, pruebas periódicas, procedimientos operativos, capacitación, inspección y mantenimiento adecuados.

Como único evento de riesgo no controlable se presenta el caso de accidente por agentes externos. Si bien el proyecto se encontrará ubicado en un área segura (zona asísmica), recientemente se han tenido eventos notorios.

Esto, considerando que históricamente se han tenido en la región terremotos denominados interplaca, los cuales son terremotos relativamente de baja intensidad que se presentan en el interior de las placas, o lejanas a las zonas.

Además, no puede descartarse la posibilidad de un accidente ocurrido por agentes externos, como es el caso de un incendio externo o una lluvia extraordinaria ocasionada por una tormenta tropical, ciclón e

inclusive un huracán.

En la **Tabla 31** se muestran los escenarios de riesgos identificados, así como su agrupación para la simulación de consecuencias, como sigue:

- **Escenario 1: Incendio por fuga en los Cilindros de almacenamiento, no mayor a 2 kg.**
- **Escenario 2: Incendio por fuga en compresor, no mayor a 1 kg**
- **Escenario 3: Incendio en Dispensadores por ruptura de manguera de los dispensarios de GNV, no mayor a 1 kg**
- **Escenario 4: el evento catastrófico mayor que puede presentarse es un BLEVE es decir una explosión en el almacenamiento de la MRU en los 2 cilindros con la capacidad al 90%**

Tabla 31. Escenarios de riesgo considerados para simulación de consecuencias para el Proyecto

Escenario a simular	Tipo	Referencia en ¿Qué pasas sí?	Índice de riesgo
Escenario 1 Incendio por fuga en los Cilindros de almacenamiento, no mayor a 2 kg.	Más probable, menos catastrófico	2.2.2. Desgaste de tuberías ocasionando fugas, de GN presencia de fuente de ignición incendio	C
Escenario 2 Incendio por fuga en tubería de entrada al compresor, no mayor a 1 kg	Más probable, menos catastrófico	1.3.1. Fugas en los empaques debido a cierre de válvula de alivio por falla mecánica	B
		1.3.2. Conato de Incendio en presencia de una fuente de ignición debido a cierre de válvula de alivio por falla mecánica	B
		1.4.1. Fugas en empaques de válvulas de bola, actuadores en mal estado, Corrosión debido a falta de mantenimiento	C
		1.4.2. Fuga de GN incendio en presencia de fuente de ignición Corrosión debido a falta de mantenimiento	B
Escenario 3 Incendio en Dispensadores por ruptura de manguera de los dispensarios de GNV, no mayor a 1 kg	Más probable, menos catastrófico	3.2.2. Explosión por Mayor flujo en el despacho de GNV debido Válvula manual abierta por falla mecánica	B
	Menos probable, más catastrófico	3.2.3. Explosión por Mayor flujo en el despacho de GNV debido Válvula manual abierta por falla mecánica	B
Escenario 4 el evento catastrófico mayor que puede presentarse es un BLEVE es decir una explosión en el almacenamiento de la MRU en los 2 cilindros con la capacidad al 90%	Peor escenario	2.2.2. Desgaste de tuberías ocasionando fugas, de GN presencia de fuente de ignición Explosión	B

II. DETERMINACIÓN DE RADIOS POTENCIALES DE AFECTACIÓN

La modelación matemática del comportamiento de los potenciales escenarios de riesgos permite evaluar la magnitud de los efectos negativos potenciales del Proyecto y la propagación de un incidente que generalmente involucra modelos de liberación accidental de sustancias peligrosas, desarrollándose una variedad de escenarios y cuyo análisis determina el impacto potencial al personal, la Terminal y población circundante.

En la Tabla 31 se listan los Escenarios de riesgo considerados para simulación de consecuencias. Para la determinación de radios se utilizó el software SCRI® (Simulación de Contaminación y Riesgos en Industrias) de Heurística, S.A. de C.V.

Para la estimación de los radios de afectación se utiliza el software de Simulación de Contaminación y Riesgos en Industrias “SCRI” versión 2.2, en sus dos paquetes SCRI-Modelos y SCRI-Fuego. El SCRI-Modelos se enfoca en el análisis de accidentes por fuego, explosión, fuga o derrame de una sustancia peligrosa, adicionalmente permite la identificación de áreas expuestas a contaminación por actividades productivas. SCRI-Fuego, ha sido utilizado para la elaboración de análisis de consecuencias por emisiones tóxicas y/o contaminantes, incluyendo modelos de radiación térmica o aspectos relevantes para consecuencias por fuego y/o explosiones. Este modelo, se basa en metodologías de la Agencia de Protección Ambiental de EUA (EPA), del Instituto Americano de Ingenieros Químicos (AIChE) y de la Agencia de Administración Federal de Emergencias de EUA (FEMA).

En general, estos métodos son un conjunto de herramientas, para simular en computadora; emisiones de contaminantes, fugas y derrames de productos tóxicos y daños por nubes explosivas, de manera que se puedan estimar escenarios de afectación de emisiones continuas o instantáneas, bajo diversas condiciones meteorológicas, para estudios de riesgo e impacto ambiental, diseño de plantas e instalaciones industriales, apoyar en la capacitación y/o entrenamiento de personal, y en el manejo de situaciones de emergencia.

Los radios de afectación se obtuvieron mediante la modelación de los peores escenarios considerados para el análisis de consecuencias. El software SCRI, específicamente el relacionado a modelos de simulación ha sido utilizado extensivamente en México para la realización de estudios de riesgo e impacto ambiental por más de 15 años y el Instituto de Ecología de México lo menciona como uno de los modelos que actualmente se utilizan para evaluación de riesgos.

Los riesgos potenciales con posibilidad de afectar al entorno ambiental (atmósfera, suelo, agua), están asociados al manejo y uso del Gas Natural.

Con la finalidad de determinar las posibles consecuencias a las que se vería expuesta la población, es de gran utilidad contar con información, al menos estimada, del número de habitantes del área, incluyendo las horas en que se presenta la mayor concentración, por ejemplo, en las escuelas, hospitales, centros comerciales, templos o centros de reunión social. Cuando se lleva a cabo el análisis de accidentes, resulta útil contar con el registro de accidentes que han ocurrido con anterioridad en la zona, las causas y consecuencias de ellos (Zagal, 1996)

II.1. POTENCIALES ESCENARIOS DE RIESGOS IDENTIFICADOS Y SUS EFECTOS

La clase de eventos más comunes que pueden ocurrir como resultado de los escenarios de riesgo por la pérdida de contención de sustancias peligrosas en forma de líquido presurizado, líquido no presurizado y de un vapor o gas presurizado, para el Proyecto son los siguientes:

II.1.1. Radiación térmica

II.1.1.1. Flash fire (Flamazo)

Cuando un gas o líquido inflamable con punto de inflamación bajo, es descargado a la atmósfera, se forma una nube de gas y se dispersa. Si el vapor resultante se encuentra con un punto de ignición antes de que la dilución de la nube sea menor al límite inferior de explosividad, ocurre el flamazo. Las consecuencias primarias de un flamazo son las radiaciones térmicas generadas durante el proceso de combustión. Este proceso de combustión tiene una corta duración, los daños son de baja intensidad y en ocasiones provocan un chorro de fuego en el punto de fuga.

II.1.1.2. Jet fire (Incendio de antorcha o chorro de fuego)

Si un gas inflamable licuado o comprimido es descargado de un tanque de almacenamiento o de una tubería, el material descargado a través de un orificio o ruptura formaría una descarga a presión del tipo chorro, el cual se mezcla con el aire. Si el material entra en contacto con una fuente de ignición, ignita y entonces ocurre un chorro de fuego.

II.1.1.3. Fireball (Bola de Fuego)

El evento de bola de fuego resulta de la ignición de una mezcla líquido/vapor inflamable y sobrecalentada que es descargada a la atmósfera. El evento de bola de fuego ocurre frecuentemente seguido a una Explosión de Vapores en Expansión de un Líquido en Ebullición (BLEVE).

A continuación, en la Tabla 35 se describen los efectos de acuerdo al nivel de radiación térmica.

Tabla 32. Efectos de la Radiación Térmica de acuerdo a la intensidad de energía

Intensidad de Radiación Kw/m ²	Descripción
1.4	Puede tolerarse sin sensación de incomodidad durante largos periodos (con vestimenta normal), se considera inofensivo para personas sin ninguna protección especial. En general se considera que no hay dolor – sea cual sea el tiempo de exposición - con flujos térmicos inferiores a 1.7 Kw/m ² (mínimo necesario para causar dolor).
3	Zona de alerta.
5	Zona de intervención con un tiempo máximo de exposición de 3 minutos. Máximo soportable por personas protegidas con trajes especiales y tiempo limitado. El tiempo necesario para sentir dolor (piel desnuda) es aproximadamente de 13 segundos, y con 40 segundos pueden producirse quemaduras de segundo grado. Cuando la temperatura de la piel llega hasta 55 °C aparecen ampollas.

Tabla 32. Efectos de la Radiación Térmica de acuerdo a la intensidad de energía

Intensidad de Radiación Kw/m ²	Descripción
11.7	El acero delgado, parcialmente aislado, puede perder su integridad mecánica.
12.5	Extensión del incendio, fusión de recubrimiento de plástico en cables eléctricos. La madera puede prender después de una larga exposición. 100 % de letalidad.
25	El acero delgado aislado puede perder su integridad mecánica.
37.5	Suficiente para causar daños a equipos de proceso, colapso de estructuras.

La Tabla 33 muestra los valores umbrales para la vulnerabilidad de los materiales, cuando se presenta un evento de radiación térmica.

Tabla 33. Vulnerabilidad de Materiales

Radiación (Kw/m ²)	Material
60	Cemento
40	Cemento prensado
200	Hormigón armado
40	Acero
33	Madera (Ignición)
30 – 300	Vidrio
400	Pared de ladrillos
13	Daños en depósitos
12	Instrumentación

II.1.2. Sobrepresión

II.1.2.1. Explosión de nube de gas no confinada (UVCE) y confinada (VCE).

La explosión de nube de vapor no confinada se presenta cuando la sustancia ha sido dispersada y se incendia a una distancia del lugar de descarga. La magnitud de la explosión depende del tamaño de la nube y de las propiedades químicas de la sustancia. Se pueden ocasionar ondas de sobre presión, y los efectos térmicos suelen ser menos importantes que los anteriores. Igualmente, las explosiones confinadas pueden dar lugar a deflagraciones y los efectos adversos que pueden provocar son: ondas de presión, formación de proyectiles y radiación térmica.

La Tabla 34 muestra los efectos derivados de la sobrepresión.

Tabla 34. Efectos derivados de la sobrepresión

Variable Física Peligrosa Ondas de presión (kg/cm ²)	Efecto observado (Clancy)
0.703	Probable destrucción de edificios; máquinas herramientas pesadas (3,175 kg) desplazadas y dañadas seriamente, herramientas para maquinaria muy pesadas (5,443 kg) sin daños.
0.351 – 0.492	Destrucción casi completa de casas.
0.210 – 0.281	Demolición de edificio sin marcos o de paneles de acero; ruptura de tanques de almacenamiento de petróleo.
0.070	Demolición parcial de casas, las vuelve inhabitables.
0.035 – 0.070	Ventanas grandes y pequeñas se hacen añicos; daño ocasional a marcos de ventanas.

II.1.2.2. BLEVE (Boiling liquid expanding vapor explosión (explosión del vapor en expansión de un líquido hirviendo))

Las explosiones de tipo **BLEVE** son uno de los peores accidentes que pueden ocurrir en la industria química o en el transporte de mercancías peligrosas. Desde un punto de vista riguroso, como se verá más adelante, estas explosiones no siempre tienen efectos térmicos. No obstante, en la mayoría de los casos reales la sustancia involucrada es combustible; esto provoca que la explosión sea seguida por la formación de una bola de fuego, de efectos muy graves.

Cuando se habla de **BLEVE**, en general a lo que se hace referencia realmente es a la combinación de los fenómenos **BLEVE**-bola de fuego, esto es, a un accidente que involucra simultáneamente efectos térmicos y mecánicos.

El **BLEVE** es un accidente que puede ocurrir las sustancias que lo pueden producir (butano, propano, cloruro de vinilo, cloro, etc.) son relativamente comunes en la industria, y abundan las instalaciones susceptibles de sufrirlo (depósitos, cisternas). Por otra parte, de vez en cuando sucede durante el transporte, ya sea por carretera o por tren, con las connotaciones especiales que esto conlleva. El origen puede ser diverso (reacción fuera de control, colisión, etc.), pero una de las causas más frecuentes es la acción del fuego sobre un recipiente.

Se deben dar tres condiciones necesarias para la producción de este fenómeno:

1. Tiene que tratarse de un gas licuado o un líquido sobrecalentado y a presión.
2. Que se produzca una súbita baja de presión en el interior del recipiente, esta condición puede ser originada por impactos, rotura o fisura del recipiente, actuación de un disco de ruptura o válvula de alivio con diseño inadecuado.
3. También es necesario que se den condiciones de presión y temperatura a los efectos que se pueda producir el fenómeno de nucleación espontánea, con esta condición se origina una evaporación de toda la masa del líquido en forma de flash rapidísima, generada por la rotura del equilibrio del líquido como consecuencia del sobrecalentamiento del líquido o gas licuado.

1. Líquido sobrecalentado y bajo presión.

Los gases licuados se deben encontrar a una temperatura "bastante superior" a la que se encontraba si estuviese a presión atmosférica normal (1 Atm) no es suficiente que se encuentre a unos pocos grados por encima de su temperatura ya que esta es una condición bastante común en la mayoría de los gases licuados (GLP, Amoniaco, Cloro), algunos criogénicos (CO₂, Nitrógeno, etc.).

También ocurre con los líquidos que se encuentran por encima de su temperatura de ebullición, cuando los recipientes que los contienen entran en contacto con fuentes de calor y estando bien cerrados aumentan su presión, este es un caso muy común en ciertos incendios donde la intensidad del mismo involucra recipientes que se encuentren en el lugar.

Por tales motivos dos grandes categorías de productos pueden ocasionar **BLEVES** como:

- I) Todos los gases licuados almacenados a temperatura ambiente inflamables o no.
- II) Los líquidos que accidentalmente entran en contacto con fuentes de calor.

Conforme a lo desarrollado para que exista una **BLEVE** la primera condición esencial pero no suficiente es el sobrecalentamiento de los gases licuados o los líquidos, pero también es necesario que se encuentren a presión y en el caso de los líquidos que no se almacenan presurizados, esta condición de presión es debido a su aumento cuando accidentalmente se calienta.

2. Súbita baja de presión.

La segunda condición necesaria pero no suficiente es que dentro del recipiente que contiene el líquido se produzca un súbito descenso de la presión.

Cualquier problema de colapso estructural del recipiente, fisura u oquedad que pueden ser producidas por causas mecánicas, grietas en las chapas del tanque, impactos, choque o vuelcos de la cisterna bajo presión en su transporte.

Es importante aclarar que esto no ocurriría con los líquidos inflamables y combustibles que no están presurizados, luego del colapso por fallas mecánicas, choques o impactos a lo sumo se produciría el derrame del producto.

También puede producirse una BLEVE por causas térmicas, la resistencia del acero al carbono disminuye gradualmente al aumentar la temperatura por encima de los 204°C, los datos se basan en aceros con bajo contenido de carbono no obstante las curvas varían en el caso de otros aceros, pero el efecto de pérdida de resistencia es relativamente similar con el aumento de temperatura en los metales comunes inclusive a temperaturas no tan críticas como las que desarrolla un incendio, en el caso de los aceros utilizados comúnmente en la construcción de tanques pueden colapsar a presiones de 14 a 20 Kg/cm², por calentamiento de la chapa entre los 650 a 700 °C, debido a que la resistencia se reduce un 30% comparativamente a temperaturas normales.

3. Nucleación espontánea.

Es importante resaltar que referente a la teoría de R.C. REID y KING sobre la nucleación espontánea, aunque todavía se continúan las experimentaciones parece confirmar dichas hipótesis.

Esta es la tercera y más específica condición para que ocurra una explosión BLEVE, una evaporación en masa tipo flash en milésimas de segundo que haga de desencadenante para el fenómeno.

Este podría ser el evento catastrófico mayor que puede presentarse es un BLEVE es decir una explosión en el almacenamiento de la MRU en los 2 cilindros con la capacidad al 90%.

II.2. ANÁLISIS DETALLADO DE CONSECUENCIAS

Se entiende por análisis de consecuencias la evaluación cuantitativa de la evolución espacial y temporal de las variables físicas representativas de los fenómenos peligrosos en los que intervienen sustancias peligrosas, y sus posibles efectos sobre las personas, el medio ambiente y los bienes, con el fin de estimar la naturaleza y magnitud del daño.

El Análisis de Consecuencias (AC) de incendios, explosiones y nubes tóxicas es una metodología de Análisis de Riesgos que permite estimar la medida de los efectos esperados de la ocurrencia de un evento potencialmente peligroso.

Mediante el AC permite estimar los posibles daños debido a la pérdida de control sobre sustancias peligrosas.

Los diversos tipos de accidentes graves a considerar en las instalaciones en las que haya sustancias peligrosas, pueden producir determinados fenómenos peligrosos para las personas, el medio ambiente y los bienes materiales:

- Fenómenos de tipo mecánico: ondas de presión y proyectiles
- Fenómenos de tipo térmico: radiación térmica
- Fenómenos de tipo químico: fugas o derrames incontrolados de sustancias tóxicas o contaminantes.

II.2.1. Criterios para determinar la duración de una fuga

Esencialmente, podemos decir que los daños o efectos antes citados pueden ser mayores o menores dependiendo del tiempo al que se exponga a este nivel de energía, principalmente en lo que se refiere a la radiación térmica; y en el caso de la explosión (sobrepresión) la duración de una fuga, determina la cantidad de masa que se libera de la sustancia y por tanto las dimensiones de la explosión y sus ondas de sobrepresión.

Existe otro parámetro que determina la cantidad de masa que se libera en una fuga, el diámetro del orificio o poro, o falla de instrumento o accesorio de seguridad, y para el cual también se han establecido rangos que están en función de equipo o dispositivo de seguridad con que cuenta del Proyecto que se analiza.

A continuación, se citan los criterios para estos dos parámetros.

II.2.2. Criterios de tiempos de duración de las fugas

Se tomaron los criterios de tiempo recomendados por el “Guidelines for Quantitative Risk Assessment” CPR18E (Purple book ed. 1999) de TNO y se indican en la Tabla 35.

Tabla 35. Criterios para Asignar Tiempos de Duración de las Fugas

Situación	Duración de la fuga de escape	
	Ruptura total	Ruptura parcial
Válvula operada remotamente y existencia de detectores.	2 minutos	5 minutos
Válvula manual y existencia de detectores.	5 minutos	10 minutos
Válvula operada remotamente sin detectores.	5 minutos	10 minutos
Válvula manual sin detectores.	10 minutos	20 minutos

II.2.3. Determinación de los orificios equivalentes de fuga

De acuerdo al “Risk management program guidance for offsite consequence analysis” los cuales se describen a continuación:

- Para tuberías de diámetro mayor o igual a 6” se consideró un orificio de fuga con un diámetro equivalente al 20 % de la sección transversal de la propia tubería.
- Para tuberías de diámetro inferior a 6” se ha postulado la ruptura total de la línea.

Por su parte PEMEX en el procedimiento **DCO-GDOESSPA-CT-001 Rev.0** señala que, para el caso de líneas de proceso, ductos, bridas, sellos o empaquetaduras en válvulas de proceso, debe utilizarse el Diámetro Equivalente de Fuga (**DEF**) y podrán utilizarse los siguientes criterios (Tabla 36) según sea el caso (alternativo o más probable).

Tabla 36. Criterios para utilizar el diámetro equivalente de fuga.

Diámetro equivalente de fuga (DEF)		
Para el caso alternativo:	Líneas de proceso: $\frac{3}{4}'' \leq DN \leq 2''$	DEF =1.00 veces del diámetro nominal (DN) de la línea de proceso.
	Líneas de proceso: $2'' \leq DN \leq 4''$	DEF =0.30 veces del diámetro nominal (DN) de la línea de proceso.
	Líneas de proceso o ductos de transporte: $6'' \leq DN$	DEF =0.20 veces del diámetro nominal (DN) de la línea de proceso.
	Bridas	Según el diámetro de la línea de proceso, aplican los criterios anteriores [1.0* (DN), 0.3* (DN) Y 0.2 (DN)]
	Sellos mecánicos en equipo rotatorio de proceso.	Para todos los tamaños de flechas, DEF = Calcularlo con el 100% del área anular.
	Sellos o empaquetaduras en válvulas de proceso.	Para todos los tamaños de vástagos. DEF = Calcularlo con el 100% del área anular.
	El DEF en el cuerpo de un recipiente, será aquel que sea determinado por el Grupo Multidisciplinario de Análisis y Evaluación de Riesgo.	
Para el caso más probable:	Líneas de proceso: $\frac{3}{4}'' \leq DN \leq 2''$	DEF =0.20 veces del diámetro nominal (DN) de la línea de proceso.
	Líneas de proceso o ductos: $2'' \leq DN \leq 4''$	DEF =0.6" [por corrosión, pérdida de material, golpe o falla en soldadura]
	Líneas de proceso o ductos o ductos: $6'' \leq DN$	DEF =0.75" para DN de 6" a 14". DEF =1.25" para DN de 6" a 24". DEF =2.0" para DN mayores de 30" [Por corrosión, pérdida de material, golpe o falla en soldadura].
	Bridas	Aplican los mismos criterios de las líneas de proceso para los casos más probables.
	Sellos mecánicos en equipo rotatorio de proceso. Empaquetaduras en válvulas de proceso.	DEF = Calcularlo con el 40% del área anular que resulte.
	El DEF en el cuerpo de un recipiente, será aquel que sea determinado por el Grupo Multidisciplinario de Análisis y Evaluación de Riesgo.	

II.2.4. Condiciones atmosféricas

De acuerdo a la ubicación del Proyecto las variables atmosféricas a considerar son:

- Velocidad del viento: 10 km/h (2.77 m/s)
- Dirección del viento: NNE
- Temperatura: 18 °C
- Humedad relativa: 10%
- Hora: Se considerará que los eventos ocurrirán durante la noche, a las 20 hrs.
- Rugosidad del terreno: Se utilizó la opción urbano o bosque, aunque por el tipo de sustancia no tiene efecto significativo en el resultado.
- Estabilidad atmosférica Tipo F

Estabilidad Atmosférica

La estabilidad atmosférica describe la tendencia de la mezcla en la atmosfera entre aire y un contaminante debida a la generación de turbulencia por fuerzas naturales (Woodward, 1998), indica la tendencia de que un paquete de aire se mueva hacia arriba o hacia abajo verticalmente después de haber sido desplazado por una pequeña cantidad de aire o algún contaminante (Hanna, 1982 visto en Woodward, 1998). El esquema más reconocido y utilizado para cuantificar la estabilidad atmosférica es el propuesto por Pasquill y Gifford. Dicho esquema, mostrado en la Tabla 37, clasifica la estabilidad ambiente utilizando letras de la A la G, cada letra resume el comportamiento de la mezcla en la atmosfera bajo distintas condiciones.

Tabla 37. Estabilidad atmosférica

Estabilidad Atmosférica según el esquema Pasquill Gifford			
Estabilidad Pasquill-Gifford	Descripción	Tiempo y clima	Velocidad del viento [m/s]
F	Muy Estable	Noche	< 3
E	Estable	↓	2 a 4
D	Neutral	Nublado o con viento	Cualquiera
B o C	Inestable	↓	2 a 6
A	Muy inestable	Soleado	< 3

Fuente: Center of Chemical Process Safety, 1996, p. 16, tabla 3

De acuerdo a lo anterior y en base a las condiciones climáticas del sitio en donde se ubica el Proyecto, la estabilidad atmosférica se considerará Tipo F, este nos permitirá agregar al modelo de simulación valores bajo los cuales se generen escenarios en condiciones que favorezcan la acumulación del gas.

II.2.5. Zonas de afectación por los modelos a emplear.

A fin de determinar los radios de afectación, se considerarán los siguientes parámetros:

- **Nube de gas:**
 - Valor umbral para zona de Riesgo: 30,000 ppm (60% del Límite Inferior de Explosividad)
 - Valor umbral para zona de Amortiguamiento: 5,000 ppm (10% del Límite Inferior de Explosividad)

- **Radiación térmica (Incendio):**
 - Valor umbral para zona de Riesgo: 5 kW/m² (Quemaduras de 2º en 60 min)
 - Valor umbral para zona de Amortiguamiento: 1.4 kW/m² (Deshidratación de la madera)

- **Sobrepresión (Explosión):**
 - Valor umbral para zona de Riesgo: 1 PSI (Derribo de personas, demolición parcial de casas que quedan inhabitables)
 - Valor umbral para zona de Amortiguamiento: 0.5 PSI (Destrucción de ventanas con daño a los marcos).

II.2.6. Resultados de la modelación de eventos

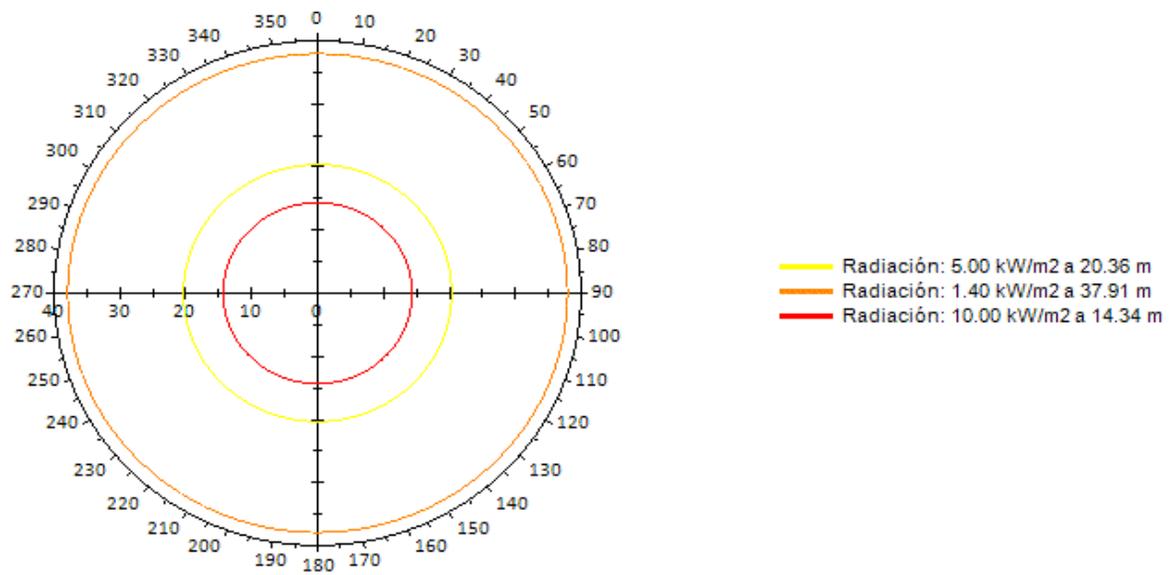
Los reportes de simulación de eventos se incluyen en el **Anexo E** y los diagramas de pétalos se incluyen en el **Anexo F**.

II.2.6.1. Método de radiación térmica

- **Escenario 1 Incendio por fuga en los Cilindros de almacenamiento, no mayor a 2 kg.**

Tabla 38. Escenario 1 Incendio por fuga en los Cilindros de almacenamiento, no mayor a 2 kg.

IDENTIFICACIÓN DE ZONA	INFLAMABILIDAD (RADIACIÓN TÉRMICA)	DISTANCIA	CONDICIONES DADAS POR API-RP-521	EFFECTO OBSERVADO
Zona de alto riesgo	5 KW/m ² o 1,500 BTU/Pie ² h	20.36 m	Intensidad de calor en donde se pueden realizar acciones de emergencia durante varios minutos, con ropa apropiada	Si no se protege a la persona es posible que aparezcan quemaduras de segundo orden con exposición de 20 a 30 seg.
Zona de Amortiguamiento	1.4 KW/m ² o 440 BTU/Pie ² h	37.91 m	Nivel de radiación en donde la exposición puede ser indefinida	No se presentan molestias con exposición por tiempo indefinido a este nivel.



Masa de la nube 1.00 kg Diámetro de Bola de Fuego: 5.80 m Tiempo de duración de Bola de Fuego: 0.45 s
Figura 30. Gráfica de Radios de Afectación por Radiación Térmica para el Escenario 1 Incendio por fuga en los Cilindros de almacenamiento, no mayor a 2 kg. Más probable, menos catastrófico.

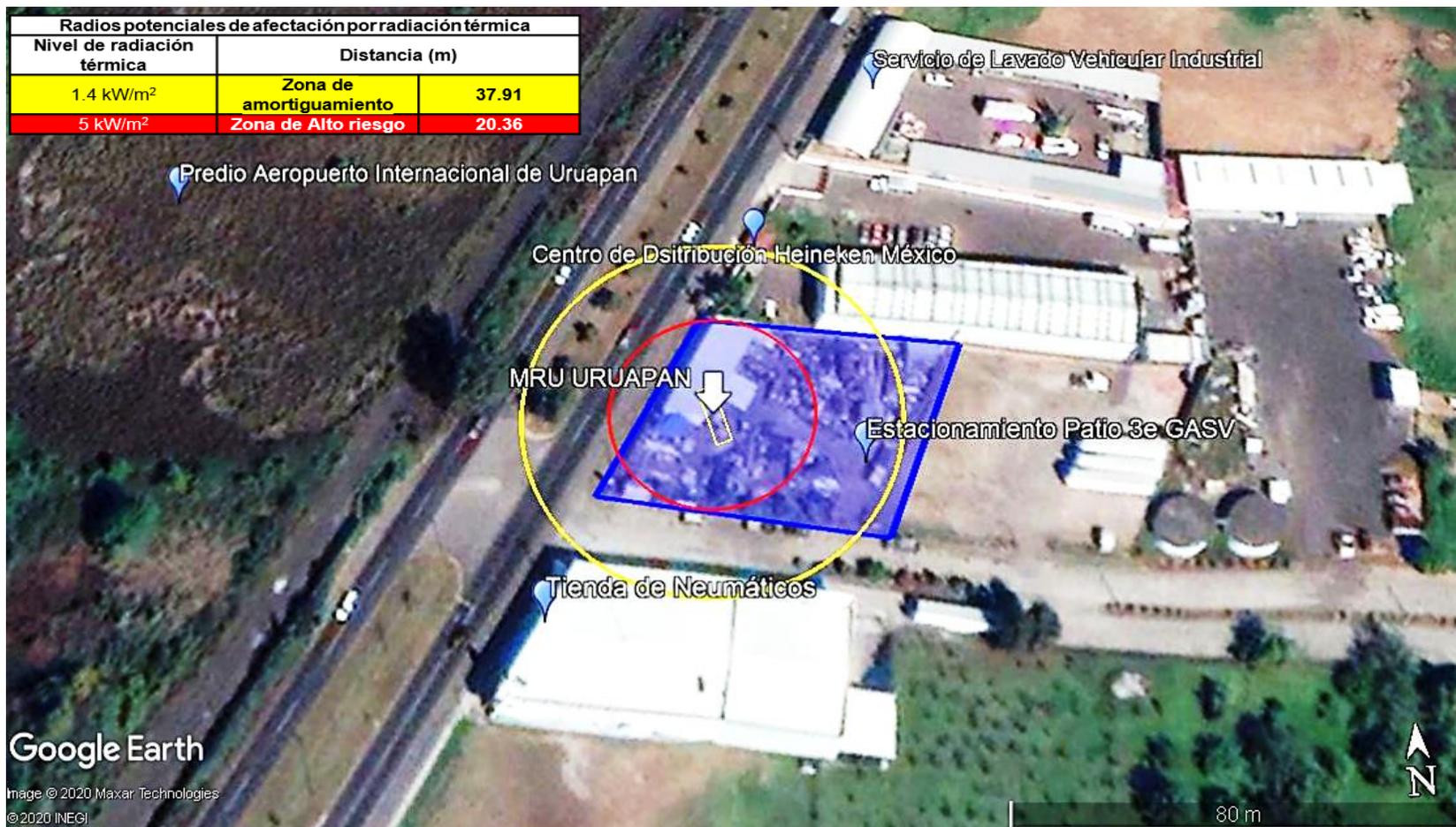
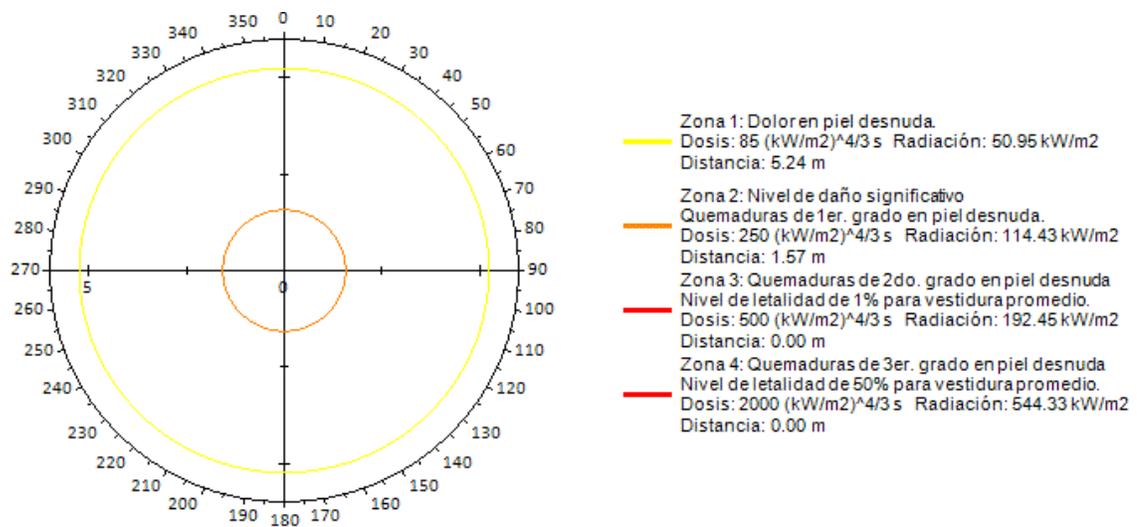


Figura 31. Radios de Afectación por Radiación Térmica para el Escenario 1 Incendio por fuga en los Cilindros de almacenamiento, no mayor a 2 kg. Más probable, menos catastrófico.

- Escenario 2 Incendio por fuga en tubería de entrada al compresor, no mayor a 1 kg

Tabla 39. Escenario 2 Incendio por fuga en tubería de entrada al compresor, no mayor a 1 kg

IDENTIFICACIÓN DE ZONA	INFLAMABILIDAD (RADIACIÓN TÉRMICA)	DISTANCIA	CONDICIONES DADAS POR API-RP-521
Zona de alto riesgo	5 KW/m ² o 1,500 BTU/Pie ² h	1.57 m	Intensidad de calor en donde se pueden realizar acciones de emergencia durante varios minutos, con ropa apropiada
Zona de Amortiguamiento	1.4 KW/m ² o 440 BTU/Pie ² h	5.24 m	Nivel de radiación en donde la exposición puede ser indefinida



Masa de la nube 1.00 kg Diámetro de Bola de Fuego: 5.80 m Tiempo de duración de Bola de Fuego: 0.45 s

Figura 32. Gráfica de Radios de Afectación por Radiación Térmica para el Escenario 2 Incendio por fuga en tubería de entrada al compresor, no mayor a 1 kg. Más probable, menos catastrófico.



Figura 33. Radios de Afectación por Radiación Térmica para el Escenario 2. Incendio por fuga en tubería de entrada al compresor, no mayor a 1 kg. Más probable, menos catastrófico.

- Escenario 3 Incendio en Dispensadores por ruptura de manguera de los dispensarios de GNV, no mayor a 1 kg

Tabla 40. Escenario 3 Incendio en Dispensadores por ruptura de manguera de los dispensarios de GNV, no mayor a 1 kg

Escenario	Intensidad de Radiación (kW/m ²)	Distancia de los radios de afectación. Rotura 20% (m)
3	1.4 kW/m ²	21.55
	3.0 kW/m ²	14.97
	5.0 kW/m ²	11.72

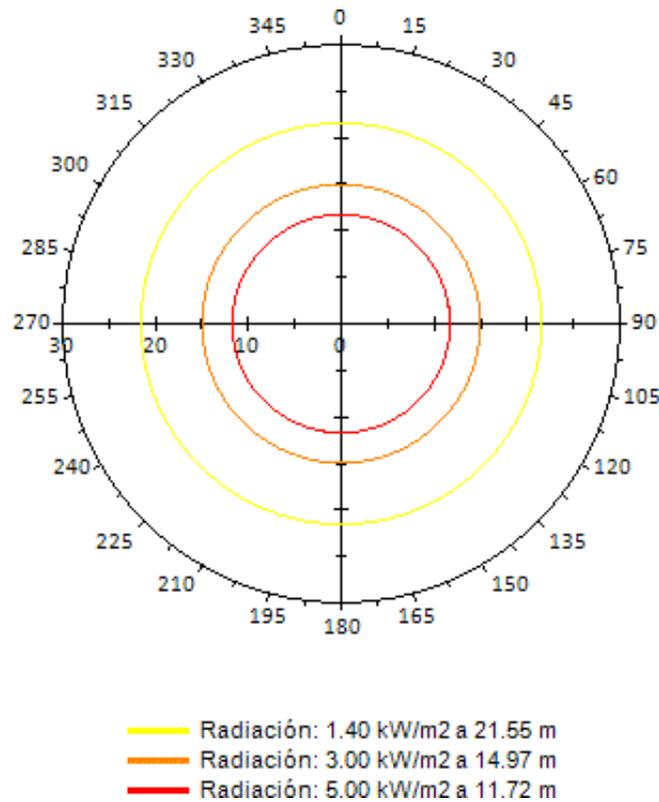


Figura 34. Gráfica de Radios de Afectación por Radiación Térmica para el Escenario 3 Incendio en Dispensadores por ruptura de manguera de los dispensarios de GNV, no mayor a 1 kg. Más probable, menos catastrófico.

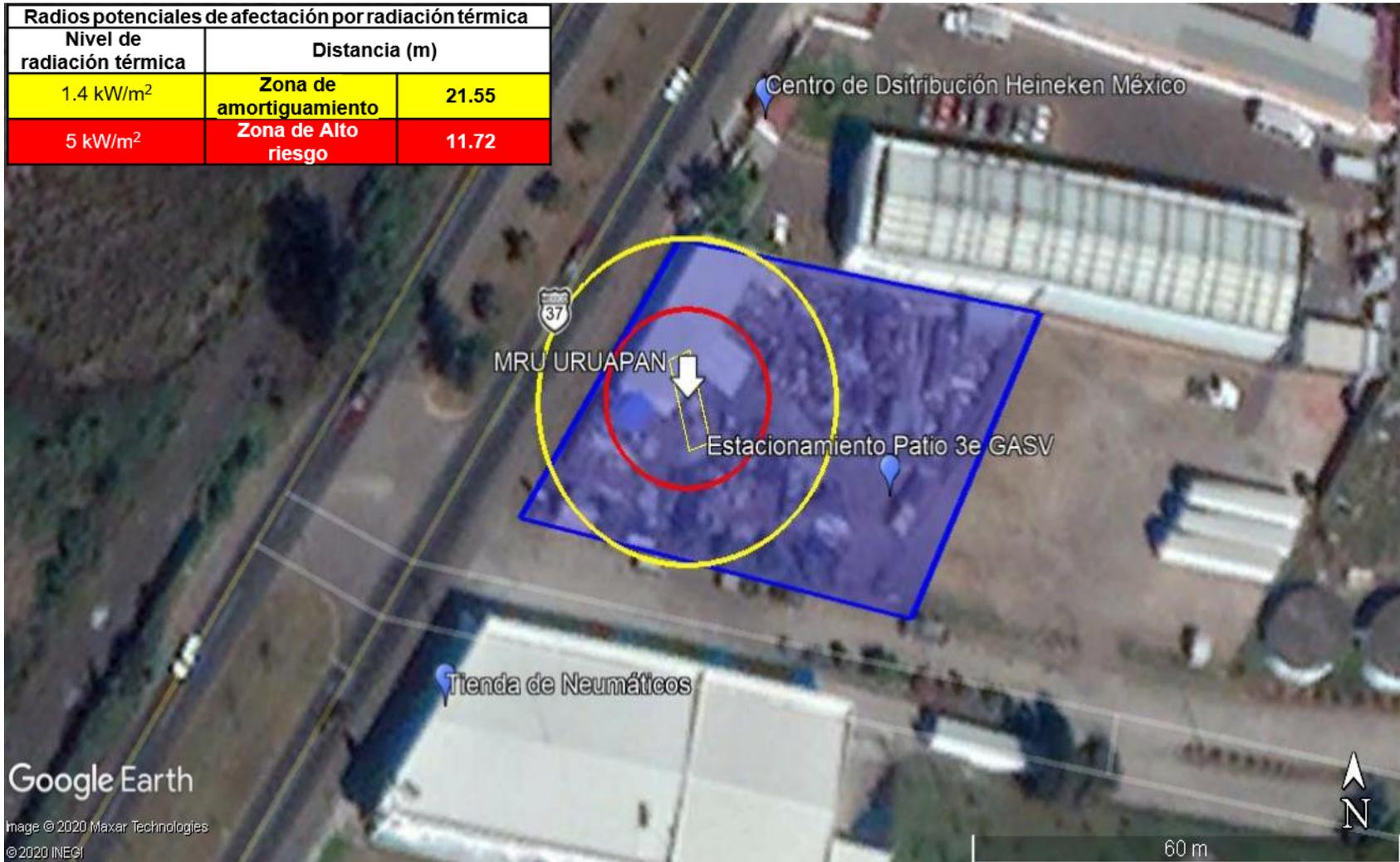
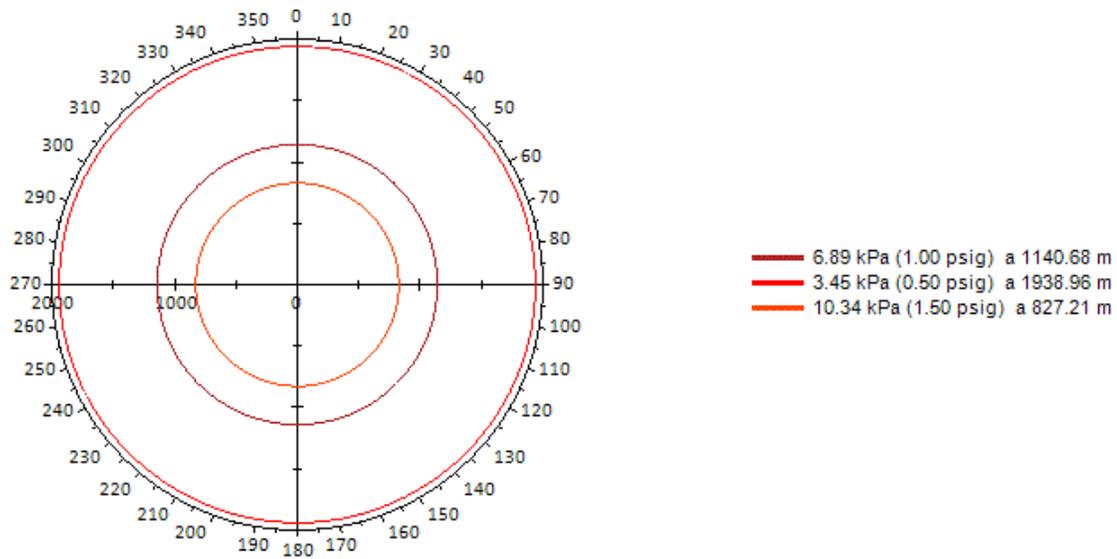


Figura 35. Radios de Afectación para el Escenario 3 Incendio en Dispensadores por ruptura de manguera de los dispensarios de GNV, no mayor a 1 kg. Más probable, menos catastrófico.

- Escenario 4 el evento catastrófico mayor que puede presentarse es un BLEVE es decir una explosión en el almacenamiento de la MRU en los 93 cilindros con la capacidad al 90% (Tabla 44)

Tabla 41. Escenario 4 el evento catastrófico mayor

Escenario	Sobrepresión (lb/in ²)	Distancia de los radios de afectación. 100% (m)
4	0.5 lb/in ² (psi)	1938.96
	1.0 lb/in ² (psi)	1140.68



Explosión de un contenedor presurizado a 250 bar que contiene 5366 m³ de GAS NATURAL LIGERO
 Energía equivalente a 252101.61 kg de TNT

Figura 36. Gráfica de Radios de Afectación por sobrepresión para el Escenario 4 el evento catastrófico mayor que puede presentarse es un BLEVE es decir una explosión en el almacenamiento de la MRU en los 2 cilindros con la capacidad al 90%. Menos probable, más catastrófico.

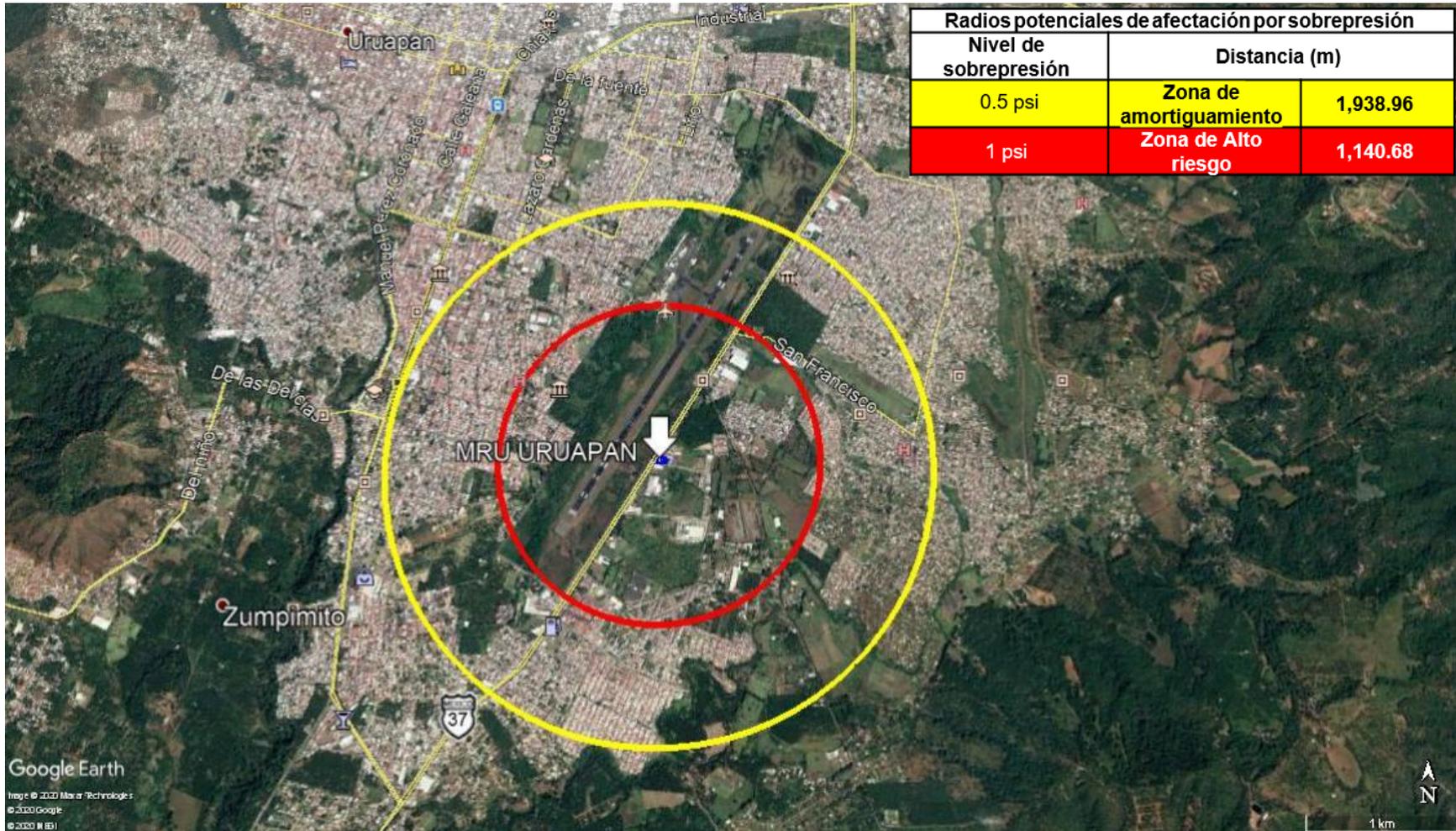
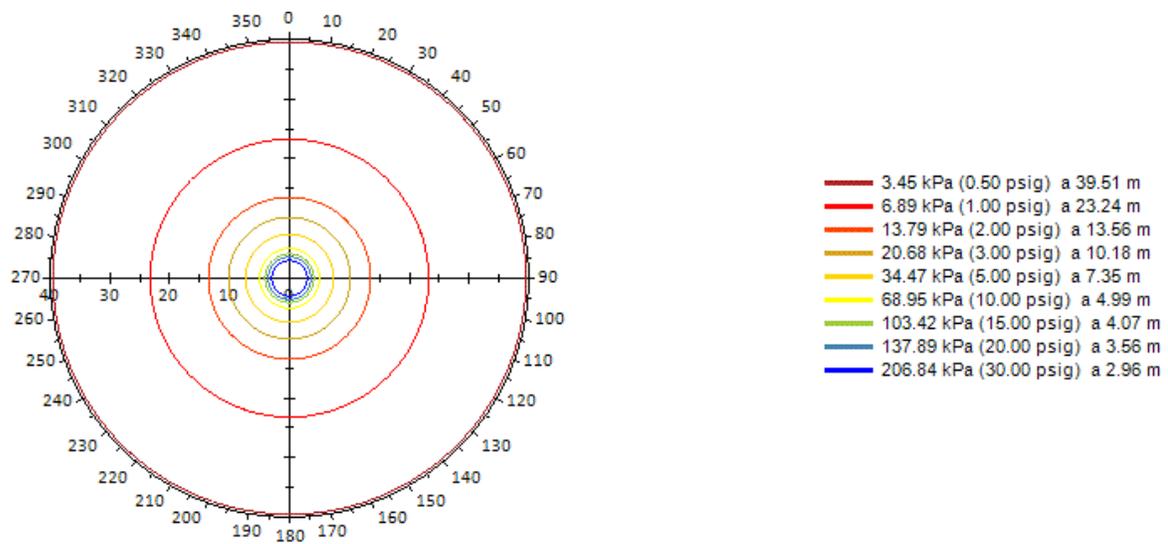


Figura 37. Radios de Afectación por sobrepresión para el Escenario 4 el evento catastrófico mayor que puede presentarse es un BLEVE es decir una explosión en el almacenamiento de la MRU en los 2 cilindros con la capacidad al 90%. Menos probable, más catastrófico.

II.2.6.3. Método de nubes explosivas.

De la propuesta de estos eventos, se puede afirmar que casi es improbable que sucedan, pero se realiza su cálculo para predecir los posibles daños críticos. Situación que hace que también las distancias obtenidas sean sobrestimadas, ya que los eventos propuestos tienen una frecuencia o probabilidad de ocurrencia muy baja, haciendo lo anterior como una situación no muy riesgosa con respecto a otras. Por otra parte, es de considerar que la empresa contará con elementos de seguridad que minimizan el hecho de que se puedan presentar dichos eventos.

IDENTIFICACIÓN DE ZONA	EXPLOSIVIDAD (SOBREPRESIÓN)	DISTANCIA	EFECTOS OBSERVADOS QUE SE PUEDEN OCASIONAR
Zona de alto riesgo	> 1.0 lb/plg ²	23.24	Ventanas grandes y pequeñas completamente estrelladas. Daño a los marcos de las ventanas. Marco estructural de acero de edificios ligeramente deformados.
Zona de Amortiguamiento	0.5 lb/plg ²	39.51	Sonido molesto (137 dB) si es de baja frecuencia (10 a 15 Hz) Fractura de vidrios previamente bajo esfuerzo. Daño estructural menor y limitado.



Energía equivalente a 2.13 kg de TNT

Figura 38. Gráfica de Radios por sobrepresión de nubes explosivas (F.E.E.= 0.2)

Estudio de Riesgo Ambiental del Proyecto
“DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL COMPRIMIDO POR MEDIO DE SEMIRREMOLQUES”

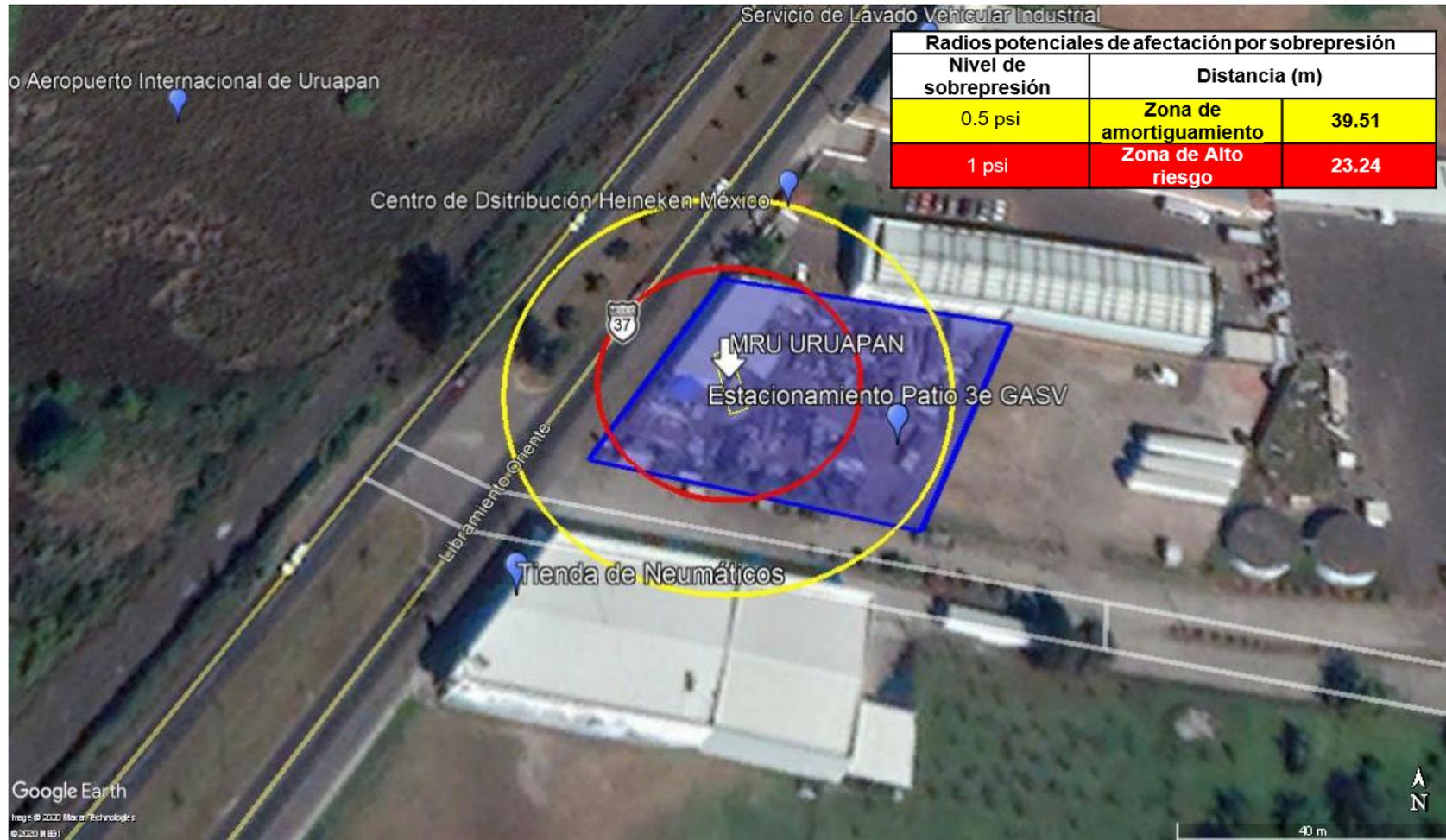


Figura 39. Radios por sobrepresión de nubes explosivas (F.E.E.= 0.2)

Se contará con los siguientes dispositivos de seguridad para minimizar dichos eventos y poder así administrarlos y no sucedan es por eso que se centra básicamente todos sus esfuerzos en la prevención, de ahí que, desde su concepción e instalación, tiene previsto la incorporación de dispositivos de seguridad que previenen y evitan una fuga, explosión o conato de incendio, tales como:

Válvulas de cierre neumático y control remoto desde un panel de control

Excesos de flujo y separación con cierre hermético y automático. Lo que significa que el equipo está diseñado para la distribución del flujo de acuerdo a las tomas de suministro y válvulas de llenado de cilindros, por lo que, de excederse el volumen suministrado, es decir que este sea mayor al requerido.

- Válvulas pool away de separación automática y cierre hermético. Estos dispositivos tienen por finalidad que en caso de un movimiento o arranque de la unidad estando conectada la manguera, se separará de la toma de suministro o descarga e inmediatamente se cierra la válvula a través de la cual se mantenía el flujo de combustible.
- Equipos acordes a las necesidades, según área, esto es bombas para las tomas de suministro y compresor, los cuales fueron fabricados con los más altos estándares internacionales
- Así mismo se mantendrá los dispositivos de seguridad tanto como extintores portátiles como estacionarios de una manera que siempre estén a la mejor disposición y que el personal operativo usaran en caso de una emergencia.
- Programa de capacitación en las actividades técnicas, operativas y de emergencia que se realicen en la estación.

III. INTERACCIONES DE RIESGOS AL INTERIOR Y AL EXTERIOR DE LA INSTALACIÓN

El análisis de interacciones se realizará realizando un matriz para cada tipo de escenarios, identificando para cada radio de afectación la infraestructura o zona que se vería afectada del Proyecto y de los puntos o sitios de interés.

III.1. Sitios de interés cercanos al proyecto MRU “Uruapan”

En un radio de 500 m alrededor del Proyecto, se tiene actividad industrial, comercial y habitacional: Centro de Distribución Heineken, Tienda de neumáticos, KIA, Toyota, Calavo (Centro de distribución de frutas y verduras), Salón de eventos sociales que pertenece a UDECAM, A.C. (Mayorista de frutas) y zona habitacional, los cuales se ven afectados en algunas de las simulaciones realizadas.



Figura 40. Radio a 500 m del Proyecto

Tabla 42. Sitios de interés y grado de vulnerabilidad

No	Punto de Interés	Distancia (metros)	Materiales	Vulnerabilidad
1	Aeropuerto Internacional de Uruapan	50 m al Oeste	Áreas verdes	Baja
		500m al Norte	Muros de tabique, block, losas de concreto armado, muros con refuerzos horizontales y verticales de concreto armado.	Baja
2	Zona urbana Colonia Infonavit Aeropuerto	715	Muros de tabique, block, losas de concreto armado, muros con refuerzos horizontales y verticales de concreto armado.	Baja
3	Estacionamiento y patio de maniobras de la empresa Parhikuni, S.A. de C.V	Al lado, 0 m al Oriente	Muros de tabique, block, losas de concreto armado, muros con refuerzos horizontales y verticales de concreto armado.	Baja
		102.05 al Norte		
4	Salón de eventos sociales que pertenece a UDECAM, A.C	200	Muros de tabique, block, losas de concreto armado, muros con refuerzos horizontales y verticales de concreto armado.	Baja
5	Colonia habitacional Los Fresnos.	385	Muros de tabique, block, losas de concreto armado	Media

Tabla 42. Sitios de interés y grado de vulnerabilidad

No	Punto de Interés	Distancia (metros)	Materiales	Vulnerabilidad
6	Tienda de neumáticos Michelin	20	Muros de tabique, block, losas de concreto armado, muros con refuerzos horizontales y verticales de concreto armado.	Baja
7	Predio de pastizal inducido	65	Áreas verdes	Baja
8	Calavo Libramiento Oriente (Centro de distribución de frutas y verduras)	125	Muros de tabique, block, losas de concreto armado, muros con refuerzos horizontales y verticales de concreto armado.	Baja
9	Concesionaria KIA Uruapan	360	Muros de tabique, block, losas de concreto armado, muros con refuerzos horizontales y verticales de concreto armado, vidrios.	Baja
10	Centro de Distribución de Heineken México	70	Muros de tabique, block, losas de concreto armado, muros con refuerzos horizontales y verticales de concreto armado.	Baja

Los radios de afectación no alcanzan áreas naturales protegidas, cruces con ríos, alguna escorrentía o cause, sin embargo, algunos radios de afectación simulados si alcanzan algunas escuelas cercanas, tiendas de conveniencia, entre otros servicios cercanos al Proyecto.

Después de realizar el análisis de riesgo y seleccionar el evento catastrófico más crítico (BLEVE) que puede presentarse, se señalan las áreas y/o instalaciones próximas al proyecto que se encuentran dentro de la zona de riesgo (radio de afectación 1,140.68), donde se puede observar que todas las instalaciones circundantes al Proyecto serían afectadas por el evento no deseado que pudiera ocurrir, llegando a dañar aún más instalaciones cercanas y el medio ambiente que a estas rodea, que son sembradíos, estacionamientos de autos, los autos que en ese momento pasen sobre la carretera México 37 ocasionando la perturbación de la vialidad en la zona, así como interrupción de líneas eléctricas.

La posibilidad de que se produzca un incendio grave se puede reducir al mínimo por medio de un diseño y una disposición adecuada de los servicios de la estación de servicio, la ingeniería correcta con la que fue construida nos permitirá administrar los riesgos que esta actividad conlleva, además la adopción de buenas prácticas de funcionamiento e instrucción y capacitación adecuada del personal en actividades y medidas de rutina que se han de aplicar en casos de emergencia. El diseño de la estación considera los servicios de suministro de agua, equipo de protección contra incendios, además la barda que rodea dicha instalación es de una altura de 2.40 m esto serviría como primera barrera contra cualquier evento ocasionado por la fuga y derivando a un incendio.

El uso de suelo se encuentra completamente urbanizado, que no se tienen elementos físicos naturales desde hace décadas, no es un área de reserva, no es área natural protegida, no se tiene flora o fauna naturales.

La identificación de los puntos de interés que puedan presentar alguna vulnerabilidad se realizó bajo la siguiente metodología:

- En el caso de BLEVE considerados los potenciales radios de afectación por sobrepresión que este caso los resultados obtenidos por un BLEVE , los radios son los siguientes:
 - Radio de Alto Riesgo (0.5 psi) =1,938.96 m
 - Radio de amortiguamiento (1psi) = 1140.68 m
- Se procedió a georreferenciar los potenciales de afectación a fin de identificar los puntos de interés que se encontraran dentro de dichos radios.
 - De dentro de los radios de afectación los ecosistemas presentes corresponden a zonas agrícolas, se observan áreas urbanizadas. Por lo que no se tiene presencia de puntos de interés con relevancia ambiental dentro de los radios de afectación por BLEVE.
 - Con respecto a infraestructura urbana como resultado se tiene que como zonas vulnerables o de interés son las industrias que se tienen en las inmediaciones del Proyecto, que se encuentra dentro del radio de alto riesgo por radiación térmica derivado de un BLEVE.

III.2. Análisis de interacciones de riesgo

A continuación, en la Tabla 43, se presenta la Matriz de interacciones entre los escenarios de riesgo y los puntos de interés identificados. 3EGASV S. de R.L. de C.V.

Tabla 43. Matriz de interacciones entre los escenarios de riesgo y los puntos de interés identificados con respecto de los escenarios de riesgo identificados

No. de Esc.	Radiación Térmica		Sobrepresión		Infraestructura más cercana
	5 kW/m ² Radio de Alto Riesgo:	1.4 kW/m ² Radio de Amortiguamiento:	1 psi Radio de Alto Riesgo:	0.5 psi Radio de Amortiguamiento:	
1	20.36 m	37.91 m	---	---	Patio de maniobras del Proyecto a 26 m aprox.
	Ninguna. Los radios de afectación se circunscriben al patio de Proyecto	Ninguna. Los radios de afectación se circunscriben al patio de Proyecto	---	---	
2	1.57 m	5.24 m	---	---	Patio de maniobras del Proyecto a 26 m aprox.
	Ninguna. Los radios de afectación se circunscriben al área del Proyecto	Ninguna. Los radios de afectación se circunscriben al área del Proyecto	---	---	
3	11.72 m	21.55 m	---	---	Patio de maniobras del Proyecto a 26 m aprox.
	Ninguna. Los radios de afectación se circunscriben al patio de maniobras del Proyecto	Ninguna. Los radios de afectación se circunscriben al patio de maniobras del Proyecto	---	---	

Tabla 43. Matriz de interacciones entre los escenarios de riesgo y los puntos de interés identificados con respecto de los escenarios de riesgo identificados

No. de Esc.	Radiación Térmica		Sobrepresión		Infraestructura más cercana
	5 Kw/m ² Radio de Alto Riesgo:	1.4 Kw/m ² Radio de Amortiguamiento:	1 psi Radio de Alto Riesgo:	0.5 psi Radio de Amortiguamiento:	
4	---	---	1140.68	1938.96	En el Predio del donde se ubicará el Proyecto: <ul style="list-style-type: none"> ● Patio de maniobras del Proyecto a 26 m aprox. Fuera del predio del Proyecto: <ul style="list-style-type: none"> ● Áreas urbanizadas
	---	---	Graves Al interior del predio e instalaciones del patio de maniobras del Proyecto. Los radios de afectación salen del predio, por ser catalogado como el escenario más catastrófico pero menos probable.	Graves Al interior del predio e instalaciones del patio de maniobras del Proyecto Los radios de afectación salen del predio, por ser catalogado como el escenario más catastrófico, pero menos probable	

- Efectos por radiación térmica para la zona de amortiguamiento de 1.4 kW/m²: Puede tolerarse sin sensación de incomodidad durante largos periodos (con vestimenta normal), se considera inofensivo para personas sin ninguna protección especial. En general se considera que no hay dolor – sea cual sea el tiempo de exposición - con flujos térmicos inferiores a 1.7 Kw/m² (mínimo necesario para causar dolor).
- Efectos por radiación térmica para la zona de alto riesgo de 5.0 kW/m²: Zona de intervención con un tiempo máximo de exposición de 3 minutos. Máximo soportable por personas protegidas con trajes especiales y tiempo limitado. El tiempo necesario para sentir dolor (piel desnuda) es aproximadamente de 13 segundos, y con 40 segundos pueden producirse quemaduras de segundo grado. Cuando la temperatura de la piel llega hasta 55 °C aparecen ampollas.
- Efectos por sobrepresión para la zona de alto riesgo: 1psi: Demolición parcial de casas, las vuelve inhabitables
- Efectos por sobrepresión para la zona de amortiguamiento 0.5psi: Ventanas grandes y pequeñas se hacen añicos; daño ocasional a marcos de ventanas.

III.3. Efectos sobre el sistema ambiental

El Proyecto **“DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL COMPRIMIDO POR MEDIO DE SEMIRREMOLQUES”** no compromete la funcionalidad natural y social que se desarrolla en el área donde se encontrara establecida.

El Proyecto **“DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL COMPRIMIDO POR MEDIO DE SEMIRREMOLQUES”** afecta aproximadamente 100.00m² de hierba donde también se localizan 6 palmeras.

IV. SISTEMAS DE SEGURIDAD Y MEDIDAS PARA ADMINISTRAR LOS ESCENARIOS DE RIESGO

IV.1. Sistemas de seguridad

IV.1.1. Sistema contra incendio

El Proyecto “DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL COMPRIMIDO POR MEDIO DE SEMIRREMOLQUES” contará con un sistema contra incendio (extintores), cuyo propósito principal es minimizar o reducir los efectos y/o daños al personal, las instalaciones y el entorno, asociados a los peligros que pueden presentarse provenientes de alguna fuga y fuego.

Se colocarán equipos de extintores del tipo Polvo Químico Seco (PQS): nueve (9) extintores de capacidad 6 kg c/u y un (1) extintor de capacidad de 35 kg. y tres (3) extintores de CO2 con capacidad de 10 libras c/u.

IV.2. Medidas Preventivas

- **Señales, señalización de seguridad e higiene y rotulaciones.**

El Proyecto contará con la Instalación de señalética, para delimitar el área operativa se utilizará barriles para tránsito (con cinta reflejante) sujetos con cadenas para impedir el acceso de personas y vehículos. Se instalarán señalizaciones en las paredes, sobre los equipos MRU y señaléticas tipo móviles para las zonas de circulación de buses. Todas las señaléticas seguirán las especificaciones según las Normas NOM-003-SEGOB-2011 (Señales y avisos para protección civil. - Colores, formas y símbolos a utilizar) y la norma NOM-026-STPS-2008 (Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías).

- **Sistema de CCTV.**

Instalación del sistema de CCTV y datos: Esta área contará con un sistema de datos tipo modem inalámbrico para comunicación con la MRU y un sistema de CCTV que incluye 2 cámaras, todo esto montado sobre postes de concreto 7,500kg compartidos con iluminación y comunicación alámbrica aérea acorde a los lineamientos técnicos en redes de telecomunicación.

A continuación, en la Tabla 44 se listan los sistemas, equipos, accesorios de seguridad para los escenarios de riesgo del Proyecto.

Tabla 44. Sistemas, equipos, accesorios de seguridad de los Escenarios de riesgo considerados para simulación de consecuencias del Proyecto

Escenario de Riesgo			Sistemas, equipos, accesorios de seguridad
Referencia ¿Qué pasa sí?	No.	Descripción	
2.2.2	1	Incendio por fuga en los Cilindros de almacenamiento, no mayor a 2 kg.	<ul style="list-style-type: none"> ● Sistema contra incendio (Extintores) ● Mantenimiento a las líneas de conducción de gas a los cilindros

Tabla 44. Sistemas, equipos, accesorios de seguridad de los Escenarios de riesgo considerados para simulación de consecuencias del Proyecto

Escenario de Riesgo			Sistemas, equipos, accesorios de seguridad
Referencia ¿Qué pasa sí?	No.	Descripción	
1.3.1, 1.3.2, 1.4.1, 1.4.2	2	Incendio por fuga en tubería de entrada al compresor, no mayor a 1 kg	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema de gas incluye válvulas de bola con actuador neumático y válvula de cierre manual • Cada línea de suministro del compresor es monitorizada por un transductor de presión Los valores de presión leídos por los transductores y los ajustes relativos de alarma se muestran en la pantalla del PLC en el armario de control. • Bitácora de mantenimiento, para llevar un control dentro de lo especificado por el proveedor • Auditorías Internas del estado de cada uno de los equipos
3.2.2, 3.2.3	3	Incendio en Dispensadores por ruptura de manguera de los dispensarios de GNV, no mayor a 1 kg	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema contra incendio (Extintores)
2.2.2	4	El evento catastrófico mayor que puede presentarse es un BLEVE es decir una explosión en el almacenamiento de la MRU en los 2 cilindros con la capacidad al 90%	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema contra incendio (Extintores) • Mantenimiento a las líneas de conducción de gas a los cilindros

V. RECOMENDACIONES DERIVADAS DEL ANÁLISIS DE RIESGO

A continuación, en la Tabla 45, se presentan las recomendaciones resultantes de las técnicas para identificación, jerarquización y cuantificación de riesgos aplicadas en el presente Análisis.

**Tabla 45. Recomendaciones de la aplicación de metodologías de riesgos para el Proyecto
 “DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL COMPRIMIDO POR MEDIO DE SEMIRREMOLQUES”**

No.	Descripción	Referencia ¿Qué pasa sí?	Índice de riesgo
1.	Seguimiento a los programas técnicos de la operación y mantenimiento a la MRU	1.1.1	B
		1.1.3	
		1.4.1	
		2.1.1	
		2.2.1	

**Tabla 45. Recomendaciones de la aplicación de metodologías de riesgos para el Proyecto
 “DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL COMPRIMIDO POR MEDIO DE SEMIRREMOLQUES”**

No.	Descripción	Referencia ¿Qué pasa sí?	Índice de riesgo
2.	Aplicación de procedimientos Operativos y de seguridad	1.1.2	C
3.	Elaborar Plan de Respuesta emergencia	1.1.3	B
		1.3.3	
4.	Realizar revisión de bitácoras de operación	1.1.3	B
5.	Inspección y mantenimiento constante a las instalaciones y equipos, la recomendada por el proveedor	1.2.1	B
6.	Mantenimiento a los controles de presión de cada válvula	1.3.1	B
7.	Mantenimiento y monitoreo a los manómetros	1.3.2	B
8.	Seguimiento al programa de auditoría de la MRU	1.4.2	B
9.	Elaboración de Procedimientos operativos	2.1.1	B
10.	Elaborar programa de Capacitación para personal operativo	2.1.1	B
		2.1.2	
		2.1.3	
11.	Monitoreo continuo de las variables de operación del compresor	3.1.1	C
12.	Difusión de Plan de Respuesta de emergencia de la MRU al personal técnico operativo	3.2.1	B
		3.2.2	
		3.2.3	
13.	Campaña de concientización para el Uso obligatorio de EPP	3.3.1	B

Además, se recomienda de manera general para el Proyecto **“DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL COMPRIMIDO POR MEDIO DE SEMIRREMOLQUES”** lo siguiente:

- 1) Elaborar los diagramas de tuberías e instrumentación del sistema de manejo de GNV dichos diagramas deberán contener entre otros aspectos la siguiente información: numeración de líneas que incluya número de línea, diámetro de la línea, especificación del material con la que está construida, servicio que maneja, numeración de válvulas, accesorios e instrumentación, indicación de válvulas de control, de seguridad, indicación del lógico de control, tipo de señal que maneja, de acuerdo con la simbología ISA (Sociedad Americana de Instrumentación).Elaborar y aplicar un programa de inspecciones a líneas y válvulas de operación y de seguridad.
- 2) Elaborar y aplicar un programa de capacitación al personal para atención a emergencias asociadas al manejo de GNV
- 3) Elaborar y aplicar un programa de capacitación y / o difusión de los resultados obtenidos en este estudio a todo el personal para lograr una mayor concientización y sensibilización tendientes a que todo el personal participe en el ámbito del desarrollo de sus funciones al interior de la estación (según el puesto que tengan) de tal manera que los riesgos identificados sean controlados, eliminados,

reducidos o transferidos, garantizando con ello la continuidad de las operaciones de la empresa y la seguridad de sus trabajadores.

- 4) Elaborar y aplicar una auditoría de seguridad que contemple:
- La revisión de normas y especificaciones de diseño y construcción de los equipos e instalaciones (vías de acceso y maniobra, tanques de almacenamiento, capacidad de bombeo, etc.).
 - La existencia y aplicación de procedimientos y programas, para garantizar la adecuada operación y mantenimiento de las instalaciones (Manuales con procedimientos de operación para cada área de la planta, paro, arranque y emergencias, mantenimiento preventivo, etc.).
 - La implementación de los sistemas de identificación y codificación de los equipos (Identificación de tuberías, cilindros, unidades de transporte de estación, etc.).
 - Los programas de verificación o pruebas, que certifiquen la calidad integral y resistencia mecánica de los equipos (Medición de espesores en tuberías y recipientes, radiografiado, certificación de accesorios y conexiones, pruebas hidrostáticas y neumáticas, etc.).
 - Programas de revisión de los diversos sistemas de seguridad, así como los programas de la calibración de la instrumentación y elementos de control (válvulas de seguridad, disparo y alarmas, etc.).
 - Disposición del equipo necesario de protección personal y de primeros auxilios.
 - Disposición de los residuos industriales generados dentro de sus instalaciones.

VI. CONCLUSIONES

Como resultado de la identificación, ponderación y jerarquización de riesgos se identificaron 18 escenarios de riesgos, resultando 3 escenarios con de Riesgo Tipo “D” Muy poco peligroso (Aceptable); 5 escenarios de Riesgo del Tipo “C” Peligroso (Aceptable con controles) con controles y 10 de riesgo “Tipo “B” Moderadamente peligroso (Aceptable con controles) tipo “B”.

Se modelaron 4 escenarios de riesgo, considerando los distintos equipos de la **MRU “Uruapan”**: Almacenamiento, Compresor y Dispensarios:

- Escenario 1 Incendio por fuga en los Cilindros de almacenamiento, no mayor a 2 kg.
- Escenario 2 Incendio por fuga en compresor, no mayor a 1 kg
- Escenario 3 Incendio en Dispensarios por ruptura de manguera de los dispensarios de GNV, no mayor a 1 kg
- Escenario 4 el evento catastrófico mayor que puede presentarse es un BLEVE es decir una explosión en el almacenamiento de la MRU en los 2 cilindros con la capacidad al 90%

Para cada escenario simulado, se determinaron las zonas de alto riesgo y amortiguamiento, utilizando los criterios establecidos por la SEMARNAT, para radiación térmica: 5 kW/m² para la zona de alto riesgo y 1.4 kW/m² para la zona de amortiguamiento y para sobrepresión 1 psi para la zona de alto riesgo y 0.5 psi para la zona de amortiguamiento. Las gráficas generadas de la simulación de consecuencias para cada uno de los escenarios simulados se incluyen en el Anexo E, los planos con los radios de afectación se incluyen en el Anexo F.

Los radios de afectación por radiación térmica resultaron con las mayores distancias para la zona de amortiguamiento ($1,4 \text{ kW/m}^2$) en el rango de 21.5 a 37.91 m, y para la zona de alto riesgo ($5,0 \text{ kW/m}^2$) en el rango de 1.57 a 20.36 m. Dichos escenarios corresponden al caso más probable pero menos catastrófico, es decir, ruptura de línea, las cuales tienen una probabilidad baja, pero consecuencia severa.

Para sobrepresión el evento catastrófico mayor que puede presentarse es un BLEVE es decir una explosión en el almacenamiento de la MRU en los 2 cilindros con la capacidad al 90%. Menos probable, más catastrófico.