



INDICE

| | |
|--|----|
| I. ESCENARIOS DE LOS RIESGOS AMBIENTALES RELACIONADOS CON EL PROYECTO..... | 3 |
| I.1. Bases de Diseño..... | 3 |
| I.1.1. Proyecto Civil..... | 5 |
| I.1.2. Proyecto Mecánico..... | 6 |
| I.1.3. Proyecto Sistema Contra-Incendio..... | 8 |
| I.2. Descripción Detallada del Proceso..... | 9 |
| I.2.1. Hojas de seguridad..... | 13 |
| I.2.2. Almacenamiento..... | 14 |
| I.2.3. Equipos de proceso y Auxiliares..... | 16 |
| I.2.4. Pruebas de Verificación..... | 18 |
| I.3. Condiciones de Operación..... | 19 |
| I.3.1. Especificación del cuarto de control..... | 21 |
| I.3.2. Sistemas de aislamiento..... | 23 |
| I.4. Análisis y Evaluación de Riesgos..... | 23 |
| I.4.1. Antecedentes de accidentes e incidentes..... | 23 |
| I.4.2. Metodologías de identificación y jerarquización..... | 27 |

TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Balance de Materia de la Estación..... | 19 |
| Tabla 2. Antecedentes de accidentes e incidentes de Gas Natural..... | 26 |
| Tabla 3. Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI) utilizado..... | 29 |
| Tabla 4. Nodos Seleccionados..... | 31 |
| Tabla 5. Categorías de severidad de accidente sugeridas. (MIL-STD-882D, 2000)..... | 31 |
| Tabla 6. Niveles de probabilidad de accidente sugeridos. (MIL-STD-882D, 2000)..... | 32 |
| Tabla 7. Matriz de Riesgos..... | 32 |
| Tabla 8. Categorías de riesgo. (MIL-STD-882D, 2000)..... | 33 |
| Tabla 9. Matriz de Riesgo considerando los resultados del HAZOP..... | 33 |
| Tabla 10. Descripción de las Fallas de Mayor Riesgo..... | 34 |
| Tabla 11. Valor de probabilidad de ocurrencia de fallas..... | 37 |
| Tabla 12. Valor de Probabilidad de Frecuencia de Fallas..... | 37 |
| Tabla 13. Descripción de escenarios..... | 38 |



FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Plano de arreglo general de la Estación de Compresión Tijuana..... | 5 |
| Figura 2. Ubicación de la Señalética contemplada en la Estación de Compresión Tijuana. | 9 |
| Figura 3. Señalética contemplada en la Estación de Compresión Tijuana..... | 9 |
| Figura 4. Sistema de Almacenaje de Gas Natural Comprimido. | 14 |
| Figura 5. Detalle exterior del remolque de transporte de Gas Natural Comprimido. | 15 |
| Figura 6. Detalle interior del remolque de transporte de Gas Natural Comprimido. | 16 |
| Figura 7. Diagrama de flujo de la Estación de Compresión Tijuana. | 19 |
| Figura 8. Diagrama de Tuberías e Instrumentación de la ERM. | 20 |
| Figura 9. Diagrama de Tuberías e Instrumentación del poste de llenado (fill post)..... | 20 |
| Figura 10. Diagrama de Tuberías e Instrumentación del equipo de compresión. | 21 |
| Figura 11. Árbol de falla en Operación y Mantenimiento. | 37 |



I. ESCENARIOS DE LOS RIESGOS AMBIENTALES RELACIONADOS CON EL PROYECTO.

El presente proyecto consiste en el diseño ejecutivo para la construcción, instalación y operación de la Estación de Compresión Tijuana, propiedad de GNC Hidrocarburos, S.A. de C.V., la cual será utilizada para comprimir el Gas Natural y así suministrarlo a los tanques de almacenamiento del contenedor móvil (camiones), mismos que llegaran directamente a la Estación de Compresion.

I.1. Bases de Diseño.

La Estación de Compresión Tijuana tendrá la capacidad de recibir el gas natural a través de un gasoducto (por la empresa Transportista, hasta una Estación de Filtración, Regulación y Medición (ERM), que queda en custodia de la empresa transportista, donde la empresa transportista controla y mide las diferentes variables del suministro como son presión, volumen, flujo, poder calorífico, temperatura, entre otros. A la salida de la ERM, el gas debe mantener una presión constante sin ser afectado por el flujo o temperatura.), donde generalmente se encuentra en presiones entre 2 y 45 Kg/cm² (28 a 640 Psi), el gas pasa a través de la estación de filtración, regulación y medición (ERM), a la salida de la ERM el gas mantiene una presión constante sin ser afectado por el flujo o temperatura.

El gas será comprimido mediante un compresor específico de GNC, que aspira el gas y lo eleva a una presión aproximada de 4200 psi, sin embargo, antes de que el gas llegue a la etapa de compresión, este, es acondicionado, lo que significa retirar una posible concentración de vapor de agua a través de un filtro coalescente/adsorbente, que es un elemento filtrante que retiene la humedad del gas.

Una vez que el gas es comprimido a una alta presión, está listo para ser enviado hacia los postes llenadores de gas.

Los equipos de despacho llamados fill post (postes de llenado), inician el llenado primeramente enviando gas a los tanques de almacenamiento del contenedor móvil (camión). Una vez que la presión comienza a igualarse (al igual que el flujo disminuye), el PLC compara constantemente los parámetros de presión, para continuar y concluir la carga de la unidad móvil hasta llenarlo totalmente.

La instalación de la Estación de Compresión ocupará una superficie de 1,505.89 m².

El proyecto incluye Área de acometida de Gas, Área de Subestación Eléctrica, Área de Compresores o Recinto, Área de Servicios Propios (Oficina de Mantenimiento, Almacén de Refacciones, Almacén de Aceites y Almacén de Residuos Peligrosos), Área de Postes de Llenado (fill Post), Área de Oficinas y Área de patio de maniobras. El Diseño y Construcción de la Estación está basada en la NOM-010-ASEA-2016.

Dentro del alcance de la Estación de Compresión, estará dividida en las siguientes áreas (**Ver Figura 1**):

Áreas:

- Área de Acometida de Gas o de Estación de Regulación y Medición (ERM).
- Área de Compresores o Recinto.
- Área de Subestación eléctrica / Cuarto de Tableros.
- Área de Servicios Propios (Oficina de Mantenimiento, Almacén de Refacciones, Almacén de Aceites y Almacén de Residuos Peligrosos).
- Área de Postes de Llenado (fill Post).
- Área de Oficinas.
- Área de Patio de Maniobras.



Sistemas:

- Sistema de Tubería de Gas Natural en Baja Presión.
- Sistema de Tubería de Gas Natural en Alta Presión.
- Sistema de Filtrado o Secado del Gas Natural (cuando aplique).
- Sistema de Compresión de Gas Natural.
- Sistema de Aire Comprimido.
- Sistema de Despacho.
- Sistema de Alumbrado y Contactos.
- Sistema de Distribución de Fuerza Eléctrica.
- Sistema de Tierra Física.
- Sistema de Pararrayos.
- Sistema de Voz y Datos.
- Sistema de Monitoreo, Seguridad y Alarmas.
- Sistema de Drenajes de Aguas Negras y Pluviales.
- Sistema de Agua Potable.

Equipos:

- Estación de Filtración, Regulación y Medición (ERM).
- Filtros Coalescentes/Adsorbentes o Secadores de Gas Natural.
- Compresores de Gas Natural.
- Postes de llenado.
- Subestación eléctrica.
- Transformador de Potencia.
- Tablero General de Distribución.
- Planta de Emergencia.
- Tablero de Transferencia.
- Centro de Control de Motores.
- Transformador de Distribución.
- Tablero de Distribución de Alumbrado y Contactos.
- Compresor de Aire

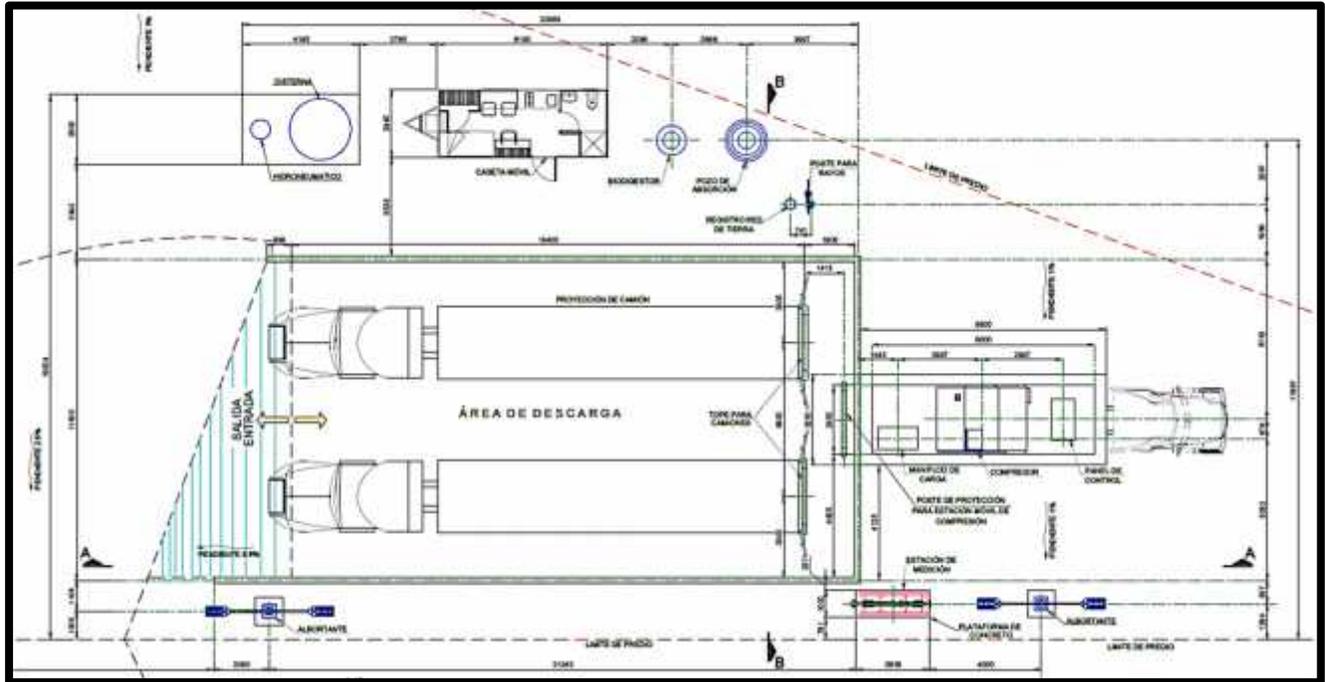


Figura 1. Plano de arreglo general de la Estación de Compresión Tijuana.

Para mayor detalle, Ver Anexo 1. Planos de la instalación
(1.1 Arreglo general).

I.1.1. Proyecto Civil.

Se consideraron los criterios generales más importantes y las bases que rigen el diseño de ingeniería civil; los detalles, así como las dimensiones finales de las estructuras y cimentaciones, se definirán durante el desarrollo de la Ingeniería de Detalle y se verán reflejados en los planos y memorias de cálculo que serán emitidos para la construcción de la Estación.

La normatividad aplicable en este proyecto y las buenas prácticas de Ingeniería deben conducir a análisis y diseños que garanticen la resistencia, la seguridad estructural, la seguridad de los equipos y de las personas, procurando la economía de las instalaciones.

Para el diseño de la Estación, la ingeniería se elaboró en base y en cumplimiento con lo establecido en la NOM-010-ASEA-2016, la cual rige en el tipo de proyecto a que se refiere.

La descripción de la obra se refiere al proyecto que se destinará para una Estación de Compresión de Gas Natural en un predio con una superficie de 1490 m², la cual estará constituida por la siguiente distribución de áreas:

- Área de Acometida de Gas o de Estación de Regulación y Medición (ERM).
- Área de Compresores o Recinto.
- Área de Subestación eléctrica / Cuarto de Tableros.
- Área de Servicios Propios (Oficina de Mantenimiento, Almacén de Refacciones, Almacén de Aceites y Almacén de Residuos Peligrosos).
- Área de Postes de llenado, (fill Post)
- Área de Oficinas.



- Área de Patio de Maniobras.

Descripción de las áreas.

Área de Acometida de Gas o de Estación de Regulación y Medición (ERM). La Estación de Regulación y Medición estará descansada sobre una base de concreto reforzado con dimensiones y resistencia apropiada para soportar las cargas a las que refiere, quedando a un nivel de 15 cm por arriba de las vialidades interiores como mínimo.

Área de Subestación Eléctrica. Esta estará descansada sobre una base de concreto reforzada con dimensiones y resistencia apropiadas además contará con una delimitación de malla ciclónica con una altura promedio de 2.00 metros con la señalización correspondiente al área.

Área de Almacén de Residuos Peligrosos. Este estará aislado del área de operación, contando las medidas de seguridad requeridas para el destino y tipo materiales que se resguardaran dentro de este almacén, se construirá con muros de block de concreto hueco, con una resistencia nominal de 60 kg/cm², losa maciza y herrería de metal.

Área de Cuarto eléctrico, de Control, de equipos de Servicios Propios, Baños, almacén de refacciones, Cuarto de Operadores, y Oficinas de Facturación. Se construirán a base de muros de block de concreto hueco con resistencia nominal de 60 kg/cm² con espesor de 15 cm de ancho, confinados con dalas y castillos de concreto y acero de refuerzo según su resistencia y cuantía de refuerzo requerida. La cimentación se empleará del tipo corrida de concreto reforzado.

Las protecciones antes señaladas deben marcarse con franjas diagonales alternas amarillas y negras, y estar ubicadas a cuando menos 1.00 m del sistema expuesto a impacto vehicular.

Área de Patio de Maniobras. Se conformará con una estructura de terracerías y un acabado de pavimento asfáltico con espesor adecuado según el diseño de la mezcla asfáltica, quedando a un nivel de 50 cm como mínimo por arriba de la vialidad municipal.

La construcción de Oficinas de Facturación, Cuarto Operadores, Almacén, Baños, Cuarto de Equipos, Cuarto de Control y Cuarto Eléctrico, se construirán con materiales en su totalidad incombustibles, ya que su losa será de concreto, además con muros de block de concreto hueco con puertas y ventanas de herrería metálica. Dichas construcciones se diseñarán y construirán para que puedan soportar los esfuerzos a los que puedan estar sujetos, de acuerdo con las normas y reglamentos vigentes para garantizar su estabilidad estructural.

I.1.2. Proyecto Mecánico.

Los criterios de diseño de ingeniería mecánica tienen la intención de servir como una guía de diseño para el proyecto, mismos que son aplicables a todos los equipos mecánicos salvo que se indique lo contrario. En la descripción particular de cada equipo, se regirán por las especificaciones del equipo específico y todo el equipo mecánico estará diseñado para mantener su integridad estructural, la capacidad funcional en las condiciones de servicio especificadas y en el comportamiento requerido bajo el presente criterio:

Los criterios de diseño mecánico establecen las normas y prácticas de ingeniería a seguir en la ejecución del diseño mecánico, los cuales se regirán por los siguientes documentos:

- Especificaciones técnicas.



- Hojas de datos.
- Planos de arreglos generales mecánico.
- Planos de detalle de diseño y montaje.
- Memorias de cálculo para equipo estático.

Todos los equipos mecánicos y materiales serán diseñados, fabricados y probados de acuerdo con las últimas ediciones aplicables de normas, códigos o especificaciones.

Las obras mecánicas se iniciarán en la Estación de Regulación y Medición (ERM), la cual será construida, suministrada e instalada por la empresa distribuidora del gas natural local, cumpliendo con las especificaciones y diseños de su propiedad.

En el inicio de la instalación de acometida de gas natural a la Estación, contará con una válvula manual de corte principal de la estación, ubicada a la salida de la ERM; aguas arriba una segunda válvula automática con actuador neumático que operará cerrando el flujo del gas cuando el paro de emergencia de la estación sea activado, o por pérdida de energía eléctrica en toda la Estación.

Los compresores de GNC elevarán la presión del gas hasta aproximadamente de 4200 Psi y lo dirigirán hacia el poste de llenado y realizar la carga de GNC a los tanques de almacenamiento del contenedor móvil. Ver **Anexo 2. Dimensiones de los Equipos.**

Características de los equipos y sistemas de la estación de compresión:

Compresor de GNC.

Características del compresor: configuración del compresor estilo “w” diseño balanceado recíprocante para Menores vibraciones y bajo nivel de ruido vida útil de servicio de un mínimo de 25 años para el cuerpo del Compresor.

Tablero de control eléctrico.

- o Panel eléctrico asegurable nema xii que alberga a todas las conexiones eléctricas adecuado para montaje remoto en locaciones no peligrosas (interiores).
- o El medidor horario muestra las horas de operación del sistema de GNC.
- o Contiene el switch de desconexión del motor principal con interbloqueo del panel de la puerta
- o Contiene los contactos de motor, los interruptores, los transformadores, los terminales de los cables.
- o La operación del compresor es completamente automática y auto motorizada con desconexiones de Seguridad automáticas e indicadores de estado para las condiciones del mismo.

Cabina de insonorización.

- o Cabina de insonorización del compresor auto-sustentable, auto-contenida, a prueba de la intemperie
- o Diseñada para permitir el acceso para el mantenimiento del equipo de compresión.
- o Los paneles de las puertas de acceso son removibles para un fácil acceso del equipo.
- o Construcción de acero de la estructura.
- o Puntos de izaje exteriores de uso pesado (para la grúa).
- o Puntos de izaje interiores de mantenimiento (para darle servicio).
- o Iluminación explosión - proof, a prueba de explosión.
- o Panel de control montado exteriormente en una cabina sellada a prueba de la intemperie que contiene el controlador lógico programable (nota: el área externa de la cabina de insonorización debe ser de clase 1 división 2 per nfpa-52).



- La pantalla de interface del operador (LCD) y el botón de apagado de emergencia (ESD) están montados en el panel de la puerta.

Sistema de detección de gases / ventilación.

- Detector de gases digital completo con cabezal sensor recambiable.
- Ventila del ventilador activada al 20% lel (lower explosive limit - límite inferior explosivo).
- Sistema de apagado y alarma activados al 40% LEL.
- Paquete estándar de atenuación sonora (75 dBA a 3 m bajo condiciones de campo abierto).
- Material de atenuación sonora en el interior de la cabina.
- Protección con metal perforado sobre el material de atenuación en las puertas
- Aislamiento del skid para reducir las vibraciones de baja frecuencia
- Silenciadores de entrada y descarga proporcionados para enfriar el aire intercambiado

Fill post (Poste de llenado)

El fill post o Poste de llenado, es un conjunto de elementos el cual se encarga de realizar la interfaz de carga que va desde la línea de distribución de GNC hacia los módulos de transporte de GNC.

- Dos válvulas de expansión para realizar el llenado de GNC dentro de los contenedores. Válvulas que oponen resistencia al flujo de GNC, las cuales se abrirán a la presión de calibración.
- Sistema de control en los postes de llenado, el cual al accionarse permitirá la apertura de un actuador neumático a través del cual fluirá el GNC.
- Manifold ubicada en el costado izquierdo del titán magnum V, en la cual se realiza la conexión de mangueras para la carga y distribución hacia los tanques de GNC.
- Mangueras de llenado (mangueras rojas) por las cuales fluye el GNC del poste de llenado hacia el manifold.
- Desfogue para liberar presión de GNC
- Conector macho (pieza metálica en forma cilíndrica) el cual tiene la función de una válvula check para acoplar el manifold al conector hembra de la manguera
- Conector hembra (pieza metálica en forma cilíndrica) la cual tiene la función de válvula check para acoplar la manguera al conector macho del manifold.
- Válvula de desfogue (válvula de bola) ubicada en la parte inferior del poste de llenado.
- Caja de control en donde se encuentra la interfaz de inicio/fin de carga al igual que un botón de paro general.

I.1.3. Proyecto Sistema Contra-Incendio.

En la Estación de Compresión Tijuana se instalarán 5 extintores, distribuidos en las áreas contempladas para la Compresión de Gas Natural, área de descarga y en las áreas de otros servicios (oficinas y cuartos).

Se realizaron cálculos basados en la **NOM-002-STPS-2010** y a la **Norma-NFPA-10**, para determinar la cantidad mínima que se requiere.

Según el plano de la Estación, las áreas a contemplarse para la colocación de los extintores y señalética, se encuentran indicadas en la **Figura 2**.

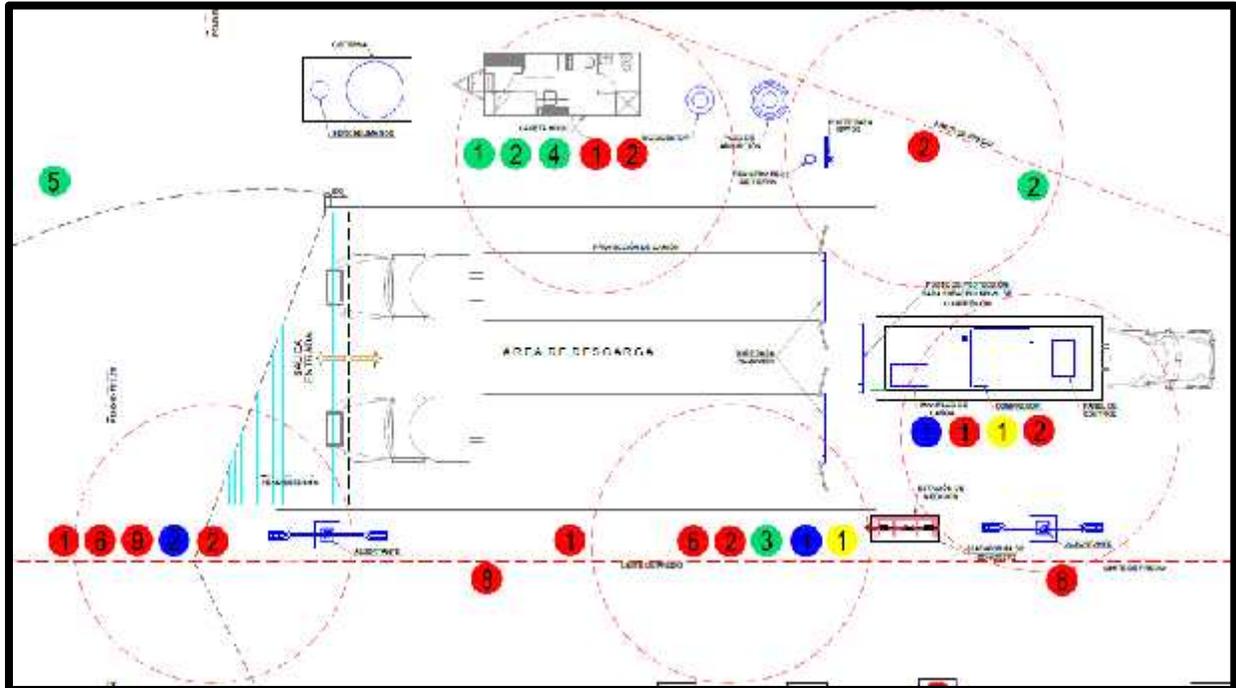


Figura 2. Ubicación de la Señalética contemplada en la Estación de Compresión Tijuana.

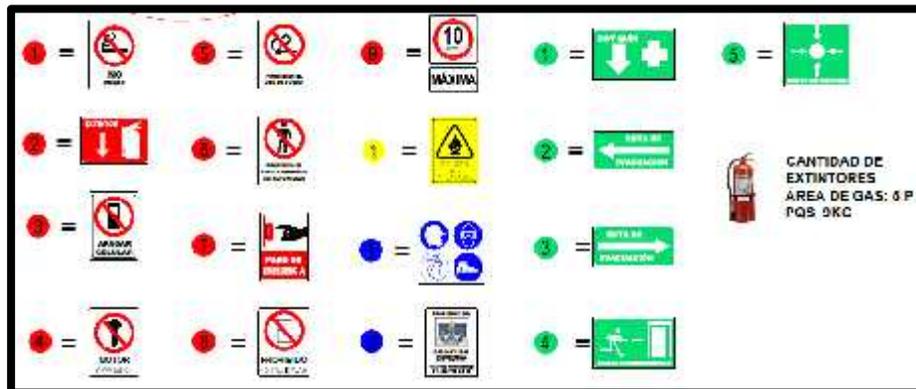


Figura 3. Señalética contemplada en la Estación de Compresión Tijuana.

Para mayor detalle, Ver Anexo 1. Planos de la instalación
1.2 Señalética.

I.2. Descripción Detallada del Proceso.

La interconexión de la Estación de Medición para la Estación de Compresión Tijuana, al gasoducto principal de 10" de Ø del permisionario GAS NATURAL DEL NOROESTE S.A. DE C.V., ubicado en el **COORDENADAS DE UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP**

DN en dirección al Poniente, en donde se aplica una envoltura en la tubería para refuerzo desde la parte seleccionada para perforación e insertar un niple de acero al carbón de 4" de Ø DN (tapping), después se tiene una válvula de bola de acero al carbón de 4" de Ø, para continuar con un codo soldable de acero al carbón de 90° X 4" de Ø cedula 40, se sigue en posición horizontal con un carrete de tubería de acero al carbón de 4" de Ø espesor 7/32 y longitud de 1 metro, inmediatamente se localiza un codo soldable de acero al carbón de 90° X 4" de Ø cedula 40, continuando en posición vertical hacia



abajo con un carrete de tubería de acero al carbón de 4" de Ø espesor 7/32 y longitud de 1 metro, hasta llegar a una codo soldable de acero al carbón de 90° X 4" de Ø, posteriormente se sigue en posición horizontal y en dirección hacia el Oriente con un carrete de tubería de acero al carbón de 4" de Ø espesor de 7/32 y longitud de 67 metros, después se conecta a un codo de acero al carbón de 90° X 4" de Ø cedula 40, mismo que se encuentra en posición horizontal y de esta manera se cambia la dirección al norte, continuando con un tramo de carrete de tubería de acero al carbón 4" de Ø espesor 7/32 y longitud de 10 metros, aguas abajo del carrete se localiza un codo soldable de acero al carbón de 90° X 4" de Ø cedula 40, en posición vertical hacia arriba, en el cual se suelda un pequeño carrete de tubería de acero al carbón de 4" de Ø espesor 7/32 y longitud 1.77 metros, inmediatamente se instala una brida

COORDENADAS DE UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP

Recepción y acondicionamiento del gas natural.

Como se mencionó anteriormente, el gas es entregado por la empresa Transportista, hasta una Estación de Filtración, Regulación y Medición (ERM), misma que queda en custodia de la empresa transportista, la cual controla y mide las diferentes variables del suministro como son presión, volumen, flujo, poder calorífico, temperatura, entre otros. A la salida de la ERM, el gas debe mantener una presión constante sin ser afectado por el flujo o temperatura.

El gas puede estar en un rango de presión de 2 a 45 Kg/cm² (28 a 640 Psi), la cual es muy baja para su Transportación terrestre y almacenamiento, por lo que debe ser comprimido, sin embargo, antes de ser comprimido, el gas debe ser acondicionado, lo que significa retirar una posible concentración de vapor de agua a través de un filtro coalescente, que es un elemento filtrante que retiene la humedad del gas o con un equipo más eficiente como un secador de gas (en caso de ser necesario).

A pesar de que los efectos de la humedad en los sistemas de gas natural no siempre son inmediatamente evidentes, y la creencia de que el gas ya está seco. Se deberá tener en cuenta que, aunque el punto de rocío del gas puede ser tan bajo como -40 ° C en la tubería a presión, los efectos de la compresión afectan el punto de rocío del gas. Las leyes físicas dictan que el punto de rocío de un gas aumenta a medida que aumenta su presión. Por lo tanto, aunque el punto de rocío del gas en una tubería dada puede ser muy bajo cuando llega al compresor, será significativamente mayor cuando el gas sale del compresor. Esta es la razón por la cual es necesario instalar equipo de filtrado o secadores de adsorción de gas. Especialmente en las zonas donde las temperaturas más bajas se encuentran durante los meses más fríos del invierno. De no contar con estos equipos, los líquidos condensados se acumularan en los recipientes ocupando un volumen muerto y por ser líquidos afectaran la combustión y además pueden llegar a provocar corrosión en el interior de los tanques de almacenamiento y transporte, acelerando su tiempo de vida del equipo.

Compresión del gas natural.

Con el gas ya acondicionado, pasa a la siguiente etapa del proceso que es la de compresión del gas, en donde se incrementa su presión hasta los 4200 Psi aproximadamente. Para lo anterior se cuenta con el equipo de compresión.

El compresor utilizado es del tipo pistón, recíprocante, de 3 etapas de compresión. El trabajo del compresor esta operado por un Controlador Lógico Programable (PLC), y se cuenta con un PLC Maestro, el cual decide cuándo se requiere el arranque para mantener la presión de descarga.

El sistema electrónico del equipo de compresión requiere de una gran cantidad de elementos eléctricos y electrónicos de control, tales como sensores, transductores de presión y temperatura, indicadores de presión, temperatura, y nivel, válvulas con actuadores neumáticos, etc. Dispositivos con los que se monitorea permanentemente los parámetros y condiciones de los equipos y de igual manera condiciones



para provocar un paro de emergencia como puede ser detección de una concentración de mezcla de gas explosiva en el ambiente, altas temperaturas en las etapas de compresión, altas presiones de descarga, etc. Lo que significa que el sistema es inteligente y seguro.

Las válvulas automáticas cuentan con actuador neumático las cuales requieren de aire comprimido para su operación o gas natural a una presión de 2 a 6 kilogramos, prácticamente todas son normalmente cerradas. El aire es controlado por válvulas solenoides que son comandadas por el PLC, y ante la pérdida de energía eléctrica o pérdida de suministro de aire comprimido o gas natural o por la activación de algún paro de emergencia o situación de alarma de los equipos, las válvulas se cierran y el servicio se suspende de manera parcial o total.

El equipo de compresión cuenta con un intercambiador de calor el cual permite enfriar por transferencia de calor a través de ventilación forzada el gas a la salida de cada etapa de compresión ya que el gas al ser comprimido y reducido su volumen la presión y la temperatura aumentan.

Suministro de GNC a los tanques de almacenamiento del contenedor móvil.

Una vez que el gas es comprimido a una alta presión, está listo para ser enviado hacia los postes de llenado. El control de lo mencionado se hace a través del Panel de control, el cual detecta el botón de arranque en el poste y manda a encender el compresor disponible para dar inicio a comprimir gas y enviarlo hacia los postes de llenado.

El propósito fundamental de los tanques de recuperación es recircular el gas cuando ya no es necesario enviar hacia el poste llenador y así evitar sobre presiones por cierre de válvulas automáticas cuando se termina la carga.

La función de todos estos elementos es controlada automáticamente por los PLC's localizados en cada paquete de compresión, se cuenta con un PLC Maestro localizado en el CCM principal, asignado a coordinar la operación y seguridad de todos los equipos.

Los operadores de la estación pueden ver el estatus del equipo de compresión y modificar algunos de los set-points de los parámetros de operación a través de una interface al PLC, localizada en el tablero del CCM, llamado Panel View. Esta pantalla es el punto de inicio para la interface Hombre-Máquina, a través de unas teclas de función se puede tener acceso a la operación de ciertas válvulas y motores de forma manual, deshabilitando su operación automática, y con otras funciones se puede acceder a los valores de Set-Point de referencia, los cuales permiten al usuario variar algunos de los parámetros de control como sea necesario, así también, por medio de esta pantalla se pueden mostrar situaciones de alarma y también se puede tener conocimiento del historial de las mismas. Para el cambio de estos parámetros se requiere la autorización de un usuario experto.

Los equipos de despacho llamados fill post (postes de llenado), inician el llenado primeramente enviando gas a los tanques de almacenamiento del contenedor móvil. Una vez que la presión comienza a igualarse (al igual que el flujo disminuye), el PLC compara constantemente los parámetros de presión, para continuar y concluir la carga de la unidad móvil hasta llenarlo totalmente.

- El fill post o Poste de llenado, es un conjunto de elementos el cual se encarga de realizar la interfaz de carga que va desde la línea de distribución de GNC hacia los módulos de transporte de GNC. Para que el GNC logre entrar a los módulos tiene que seguir la secuencia descrita a continuación:
 - ✓ El GNC es comprimido a 260 bar de presión y pasa por una etapa de enfriamiento, para después entrar a través de una válvula de bola a un filtro de impurezas que tiene en la parte inferior una válvula de aguja para drenar impurezas generadas durante la etapa de compresión.



- ✓ Una vez que el GNC se ha filtrado se realizara el llenado del sistema de control neumático, dentro del cual se regulara la presión de 260 a 6 bar para que cuando el operador presione el botón de inicio, esta presión mande una señal de apertura a una válvula solenoide que realizara la apertura de un actuador neumático y este permitirá el flujo hacia las válvulas de expansión. Dentro de este sistema de control se tiene una línea de gas conectada a una válvula de seguridad que se encuentra calibrada a 115 PSI (8 bar), la cual se accionara si en algún momento se sobre pasa dicha presión, liberando el GNC hacia la atmosfera.
- ✓ Una vez que el GNC ya se encuentra fluyendo dentro del sistema, llegara a las válvulas de expansión; en las cuales se presentara una resistencia generada por un resorte que permitirá o no el flujo de GNC; este a su vez fluirá si y solo si se llega a la presión de calibración de dichas válvulas, esta presión deberá estar situada entre 210 y 260 bar. Estas válvulas tienen como fin lograr un flujo con presión constante para garantizar el intercambio de temperatura entre el gas remanente del módulo y el GNC que fluye a través del poste de llenado. De igual manera en este punto se tiene una válvula de seguridad la cual esta calibrada a 4000 PSI (281 bar) la cual se activara si se sobrepasa dicha presión, causando que el GNC se libere a la atmosfera.
- ✓ Una vez que la presión de GNC ha vencido al resorte, este fluirá hacia un manifold de distribución en el cual se tienen tres mangueras para uso exclusivo de GNC, un manómetro indicador de presión y un transmisor de presión conectado a un PLC, el cual monitoreara la presión de carga en los módulos. Cabe mencionar que el flujo máximo de GNC a través del poste será de 8000 scfm (13,592 m³/h)
- ✓ Finalmente el GNC fluirá a través de las mangueras hacia el modulo, estas mangueras cuentan con conectores rápidos hembra especiales para GNC, los cuales cuentan con un sistema de seguridad que consta de un perno que evitara que la campana corrediza se llegue a botar con la presión.

Sistemas y equipos de seguridad operativa.

Uno de los más importantes puntos que no se debe olvidar en la Estación, es la seguridad, la cual ha sido considerada para que el personal operario tenga acceso a esta, de manera inmediata. Es decir, existen botones de paro de emergencia, en cada unidad de despacho (fill post), equipos de compresión, equipo de filtrado o secador, cuarto de tableros, Oficinas y otros puntos, los cuales al ser activados, desenergizan totalmente los sistemas de compresión, cierran válvulas de succión y descarga de compresores. Seguido de lo anterior la activación de una alarma audible y sonora indica situación anormal de operación. Requiriendo para su reinicio de operación el reconocimiento de la alarma y la corrección del evento que originó el paro de los equipos.

Además, cada equipo de compresión (en cada etapa de compresión) y tanques de recuperación, así como tanques de almacenamiento del contenedor móvil y postes de llenado (fill post), cuenta con válvulas de seguridad calibradas para operar a una presión superior a la de operación normal.

En la cabina del compresor, se cuenta con detectores de mezclas explosivas que son monitoreadas por el PLC y le permiten tomar decisiones como emitir desde una alarma cuando hay presencia de gas en el entorno, hasta dejar fuera de servicio el equipo de compresión al detectar una mezcla explosiva de alto riesgo.

Así también, los postes de llenado cuentan con válvulas de seguridad, que operan por una sobrepresión liberando el exceso de presión al ambiente.



I.2.1. Hojas de seguridad.

La sustancia química peligrosa involucrada en la etapa de operación del proyecto, es el Gas Natural, por lo que a continuación se describen algunas de las características de esta sustancia:

Nombre: Gas Natural.
Familia química: Hidrocarburo parafínico.
Peso molecular: 16,042.
Estado físico, color y olor: Gas incoloro, inodoro e insípido.
Punto de fusión (760 mm Hg): - 182,50 °C.
Punto de ebullición (760 mm Hg): - 161,50 °C.
Temperatura crítica: - 82,50°C.
Calor específico: 1,308 Kcal/Kg.
Calor de fusión: 14 Kcal/Kg.
Calor de vaporización: 122 Kcal/Kg.
Presión crítica: 45,8 atm.
Densidad crítica: 0,162.
Densidad del vapor (760 mm Hg): 0,554.
Densidad específica (aire= 1): 0,68.
Temperatura de auto ignición: Entre 5 370 y 6 510°C.
Volumen crítico: 0,098 m³/Kg/mol.
Solubilidad en agua: 0,4 – 20 microgramos/100 cm³.
Punto de inflamación: 5 370 °C.
Límite inferior de explosividad: 5 % gas en el aire.
Límite superior de explosividad: 15 % gas en el aire.
m³ de aire para quemar 1 m³ gas: 9,53.

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 (H₂S), con el propósito de detectar fugas de esta sustancia.

Es una mezcla de hidrocarburos ligeros, compuesto principalmente de metano, etano, propano, butanos y pentanos; además de lo anterior, cuenta con otros componentes tales como el CO₂, el helio, el sulfuro de hidrógeno y el nitrógeno, su composición nunca es constante, sin embargo, se puede decir que su componente principal es el metano (mínimo 90%). Posee una estructura de hidrocarburo simple, compuesto por un átomo de carbono y cuatro de hidrógeno (CH₄). Cabe mencionar, que el metano es altamente inflamable, se quema fácilmente y emite muy poca contaminación. Por lo anterior, el Gas Natural no es ni 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 energía; es más ligero que el aire y a pesar de sus altos niveles de inflamabilidad y explosividad las fugas o emisiones se disipan rápidamente en las capas superiores de la atmósfera, dificultando la formación de mezclas explosivas en el aire. Esta característica permite su preferencia y explica su uso cada vez más generalizado en instalaciones domésticas e industriales y como carburante en motores de combustión interna. Además, presenta ventajas ecológicas, ya que al quemarse produce bajos índices de contaminación, en comparación con otros combustibles.

Así mismo, el gas natural es un asfixiante simple que no tiene propiedades peligrosas inherentes, ni presenta efectos tóxicos específicos, pero que actúa como excluyente del oxígeno para los pulmones. El efecto de los gases asfixiantes simples es proporcional al grado en que disminuye el oxígeno en el aire que se respira; por lo que en altas concentraciones puede producir asfixia.

Para mayor detalle, Ver Anexo 3. Hoja de Datos de Seguridad.



I.2.2. Almacenamiento.

La Estación de Compresión no contará con un área de almacenamiento como tal, debido a que las áreas de la Estación están diseñadas para la compresión del Gas Natural y suministrarlo a los tanques de almacenamiento del contenedor móvil (camión), dichos tanques cuentan con una capacidad total de 11,000 m³ y con una presión de almacenamiento de 3,600 Psi.



Figura 4. Sistema de Almacenaje de Gas Natural Comprimido.

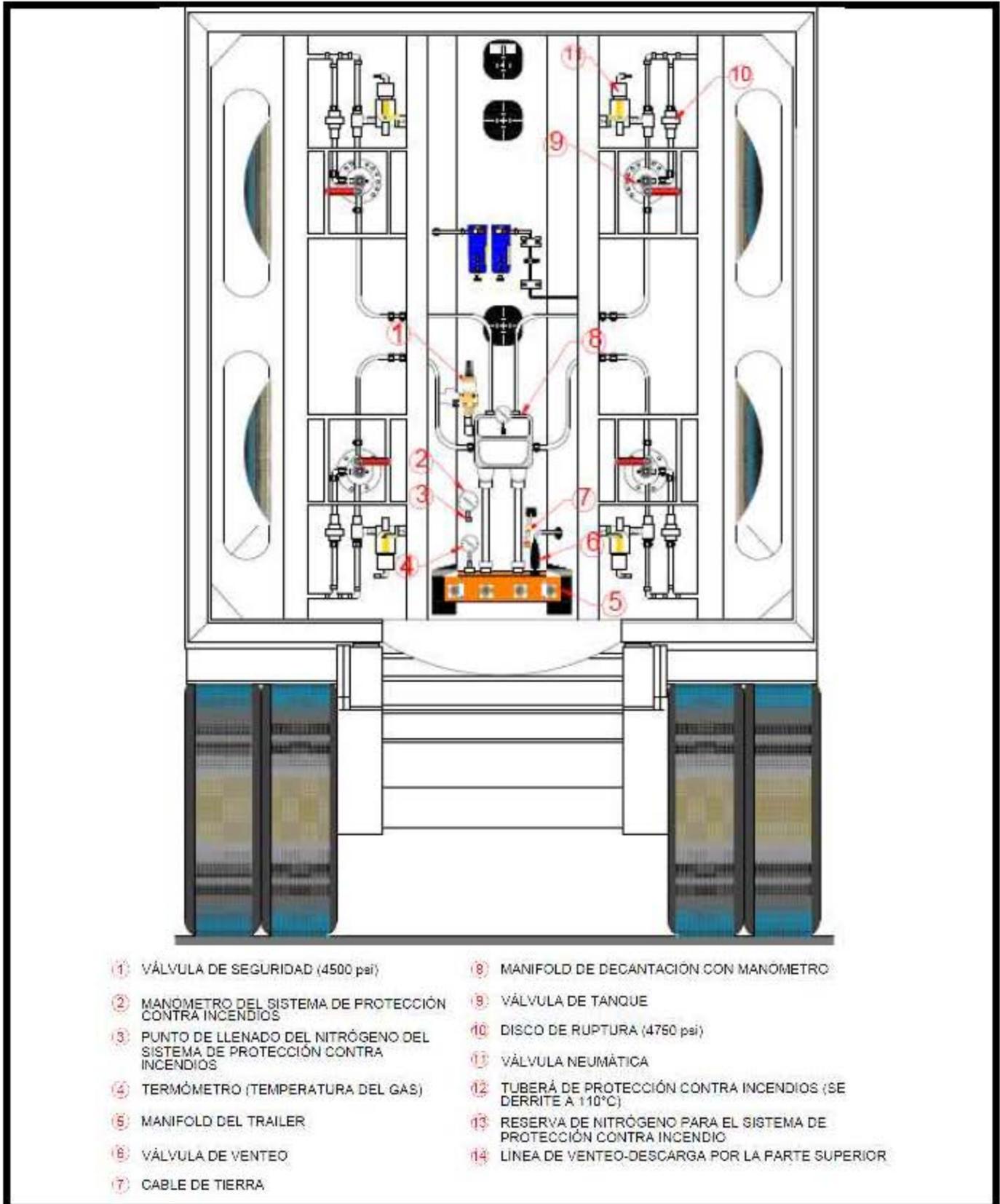


Figura 5. Detalle exterior del remolque de transporte de Gas Natural Comprimido.

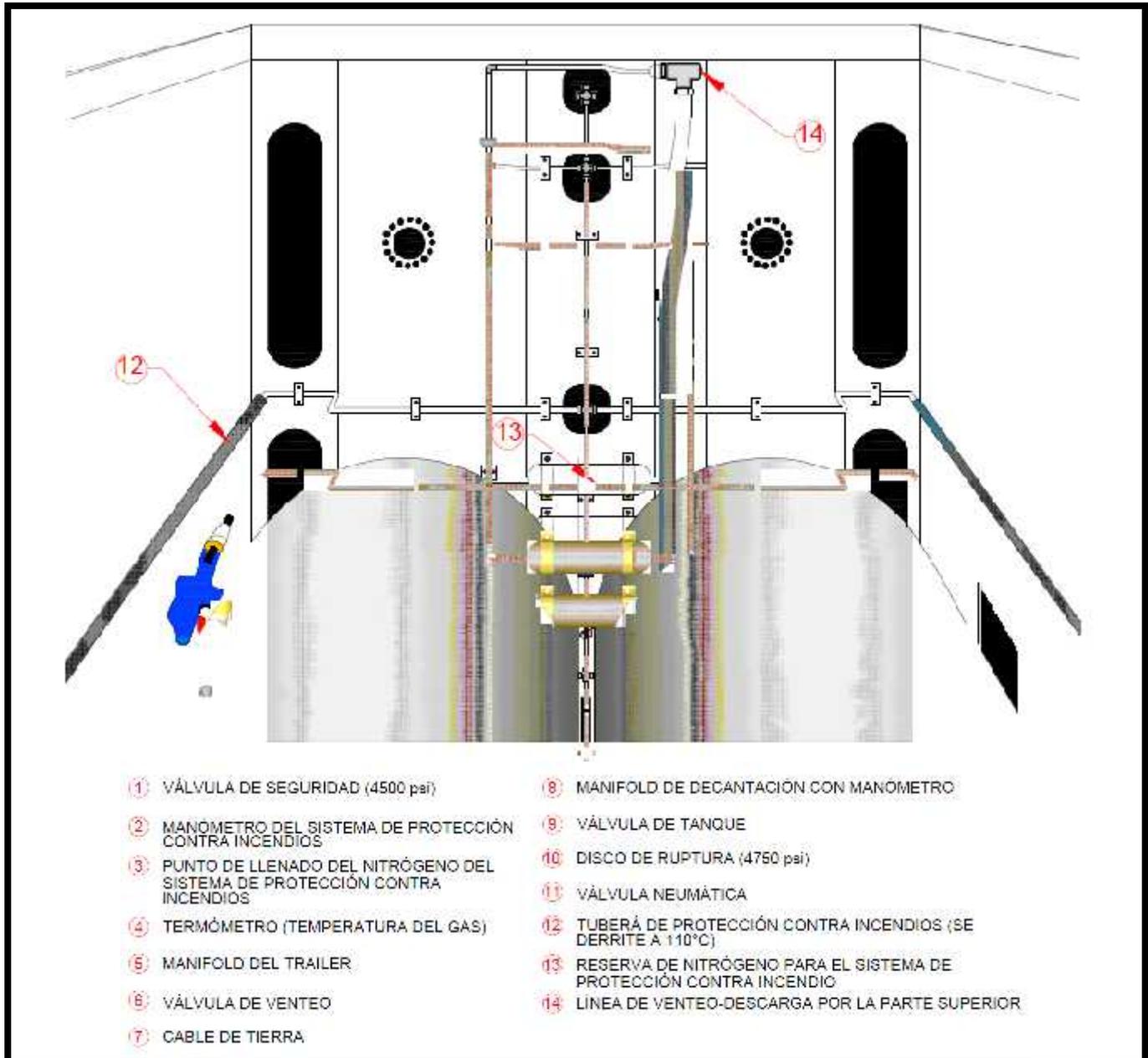


Figura 6. Detalle interior del remolque de transporte de Gas Natural Comprimido.

I.2.3. Equipos de proceso y Auxiliares

Compresor de GNC.

Características del compresor: configuración del compresor estilo “w” diseño balanceado recíprocante para Menores vibraciones y bajo nivel de ruido vida útil de servicio de un mínimo de 25 años para el cuerpo del Compresor.

- Cilindros, pistones y válvulas no-lubricados anillos y empaquetaduras hechas de teflon auto lubricado.
- Ciclo de vida de servicio de los anillos y empaques de 5000 ~ 8000 horas.
- Típicamente se transfieren menos de 5 ppm de aceite en el gas de descarga.



- Intercambiadores de calor de alta eficiencia para las etapas intermedias de compresión y enfriamiento del gas descargado temperatura de salida del gas= 10 °c sobre la temperatura ambiental.
- Panel de instrumentos montado que muestra el estado del sistema, las presiones y las temperaturas
- Control eléctrico (PLC) con indicadores del estado de la alarma, el PLC monitorea y controla todas las funciones del compresor incluyendo encendidos y apagados.
- Filtro de descarga (1 micron) al 99.95% de eficiencia.
- tubería inter etapas protegida con válvulas de alivio con sello asme "uv"
- todas las conexiones de las tuberías son de acero inoxidable de tipo compresión de doble férula

Tablero de control eléctrico.

- Panel eléctrico asegurable nema xii que alberga a todas las conexiones eléctricas adecuado para montaje remoto en locaciones no peligrosas (interiores).
- El medidor horario muestra las horas de operación del sistema de GNC.
- Contiene el switch de desconexión del motor principal con interbloqueo del panel de la puerta
- Contiene los contactos de motor, los interruptores, los transformadores, los terminales de los cables.
- La operación del compresor es completamente automática y auto motorizada con desconexiones de Seguridad automáticas e indicadores de estado para las siguientes condiciones de alarma:
 - Presión de entrada alta / baja.
 - Temperatura de descarga alta en todas las etapas.
 - Alta presión al final de la descarga.
 - Baja presión de aceite.
 - Nivel bajo de aceite (opcional).
 - Sobrecarga del motor impulsor.
 - Sobrecarga del motor del ventilador.
 - Voltaje alto / bajo (opción de protección de energía).
 - Botón pulsador de paro de emergencia (ESD) activado.
 - Detección del límite inferior explosivo del gas (LEL).
 - Detección del límite de fuego o de calor.
 - Monitoreo remoto PLC Upgrade con modem de 56.6 k y auto-marcador.

Cabina de insonorización.

- Cabina de insonorización del compresor auto-sustentable, auto-contenida, a prueba de la intemperie
- Diseñada para permitir el acceso para el mantenimiento del equipo de compresión.
- Los paneles de las puertas de acceso son removibles para un fácil acceso del equipo.
- Construcción de acero de la estructura.
- Puntos de izaje exteriores de uso pesado (para la grúa).
- Puntos de izaje interiores de mantenimiento (para darle servicio).
- Iluminación explosión - proof, a prueba de explosión.
- Panel de control montado exteriormente en una cabina sellada a prueba de la intemperie que contiene el controlador lógico programable (nota: el área externa de la cabina de insonorización debe ser de clase 1 división 2 per nfpa-52).
- La pantalla de interface del operador (LCD) y el botón de apagado de emergencia (ESD) están montados en el panel de la puerta.

Sistema de detección de gases / ventilación.

- Detector de gases digital completo con cabezal sensor recambiable.
- Ventila del ventilador activada al 20% lel (lower explosive limit - límite inferior explosivo).



- Sistema de apagado y alarma activados al 40% LEL.
- Paquete estándar de atenuación sonora (75 dBA a 3 m bajo condiciones de campo abierto).
- Material de atenuación sonora en el interior de la cabina.
- Protección con metal perforado sobre el material de atenuación en las puertas
- Aislamiento del skid para reducir las vibraciones de baja frecuencia
- Silenciadores de entrada y descarga proporcionados para enfriar el aire intercambiado

Fill post (Poste de llenado)

El fill post o Poste de llenado, es un conjunto de elementos el cual se encarga de realizar la interfaz de carga que va desde la línea de distribución de GNC hacia los módulos de transporte de GNC.

- Dos válvulas de expansión para realizar el llenado de GNC dentro de los contenedores. Válvulas que oponen resistencia al flujo de GNC, las cuales se abrirán a la presión de calibración.
- Sistema de control en los postes de llenado, el cual al accionarse permitirá la apertura de un actuador neumático a través del cual fluirá el GNC.
- Manifold ubicada en el costado izquierdo del titán magnum V, en la cual se realiza la conexión de mangueras para la carga y distribución hacia los tanques de GNC.
- Mangueras de llenado (mangueras rojas) por las cuales fluye el GNC del poste de llenado hacia el manifold.
- Desfogue para liberar presión de GNC
- Conector macho (pieza metálica en forma cilíndrica) el cual tiene la función de una válvula check para acoplar el manifold al conector hembra de la manguera
- Conector hembra (pieza metálica en forma cilíndrica) la cual tiene la función de válvula check para acoplar la manguera al conector macho del manifold.
- Válvula de desfogue (válvula de bola) ubicada en la parte inferior del poste de llenado.
- Caja de control en donde se encuentra la interfaz de inicio/fin de carga al igual que un botón de paro general.

I.2.4. Pruebas de Verificación.

La empresa promovente tiene contemplado asegurar la integridad mecánica de sus equipos y/o instalaciones (principalmente el sistema de compresión, los tanques de almacenamiento del contenedor móvil, entre otros equipos auxiliares), realizar las respectivas pruebas de integridad mecánica, garantizando que la operación de la Estación de Compresión sea confiable y segura para las condiciones del servicio a brindar, esto por medio de la determinación del estado actual, vida útil estimada, las necesidades de mantenimiento y/o reparación en sus equipos de proceso.

Para el mantenimiento adecuado de las instalaciones se desarrollará un programa de verificación de las instalaciones, el cual se diseñará de acuerdo a los manuales de procedimiento de la empresa.

El Programa de Verificación incluirá la verificación de los siguientes aspectos:

- Características del producto a manejar (Gas Natural)
- Estado en que se encuentran las tuberías, válvulas y demás sistemas de control y conducción del producto.
- Estado en que se encuentran los equipos de control
- Estado en que se encuentran los Tanques de Almacenamiento del contenedor móvil
- Estado y funcionamiento del Sistema de Compresión



I.3. Condiciones de Operación.

El gas natural llega hasta la Estación de Compresión Tijuana a través del ducto de 4" de A.C., a una presión entre 28 a 640 Psi el cual se comprime hasta 4600 Psi para su almacenamiento y envío a una Estación de Descompresión. En el siguiente diagrama se describe el flujo de operación desarrollado en la Estación de Compresión, para mayor detalle se describe en la **Tabla 1** el balance de materia.

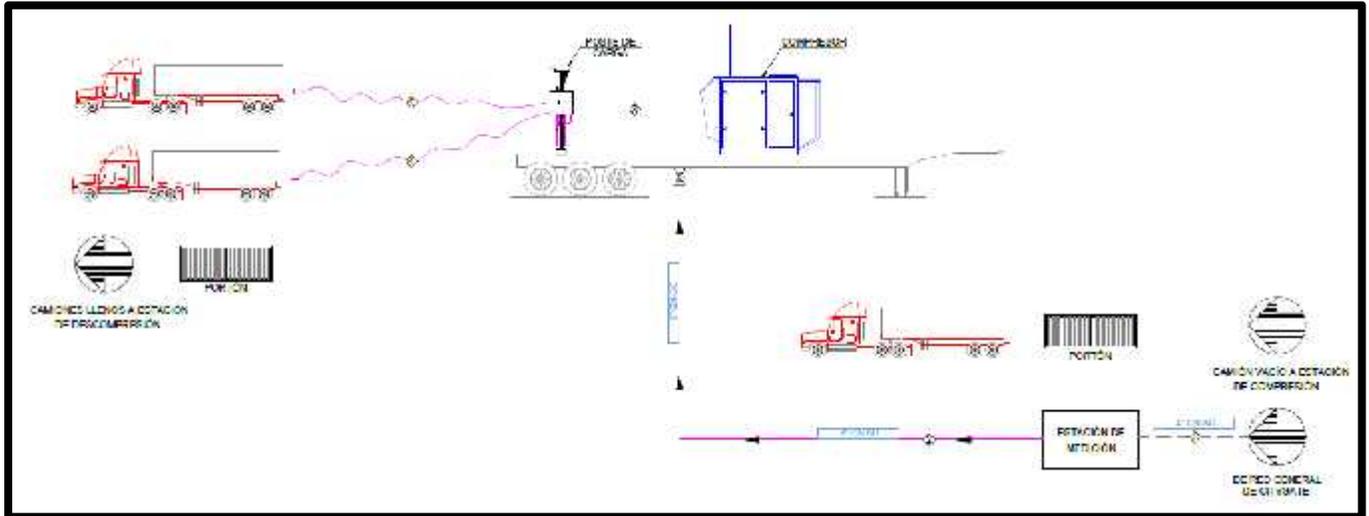


Figura 7. Diagrama de flujo de la Estación de Compresión Tijuana.

Tabla 1. Balance de Materia de la Estación.

| N. de Corriente | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|
| Descripción | Unidades | Gas natural baja presión | Gas natural baja presión | Gas natural Comprimido | Gas natural comprimido |
| | | continuo | intermitente | intermitente | intermitente |
| Flujo | Sm ³ /h | 1,619.00 | 1,619.00 | 1,619.00 | 1,619.00 |
| Flujo | Spies ³ /min | 952.91 | 952.91 | 952.91 | 952.91 |
| Humedad | % | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Temperatura | (°C) | 20 | 20 | 38.0 | 38.00 |
| Densidad | Kg/m ³ | 0.60 | 0.60 | 177.03 | 177.03 |
| Presión de operación | BAR | 21 | 21 | 260 | 260 |

A continuación se muestran los elementos y el Diagrama de Tuberías e Instrumentación correspondientes al sistema de compresión y poste de llenado (**Ver Figuras 8, 9 y 10**).

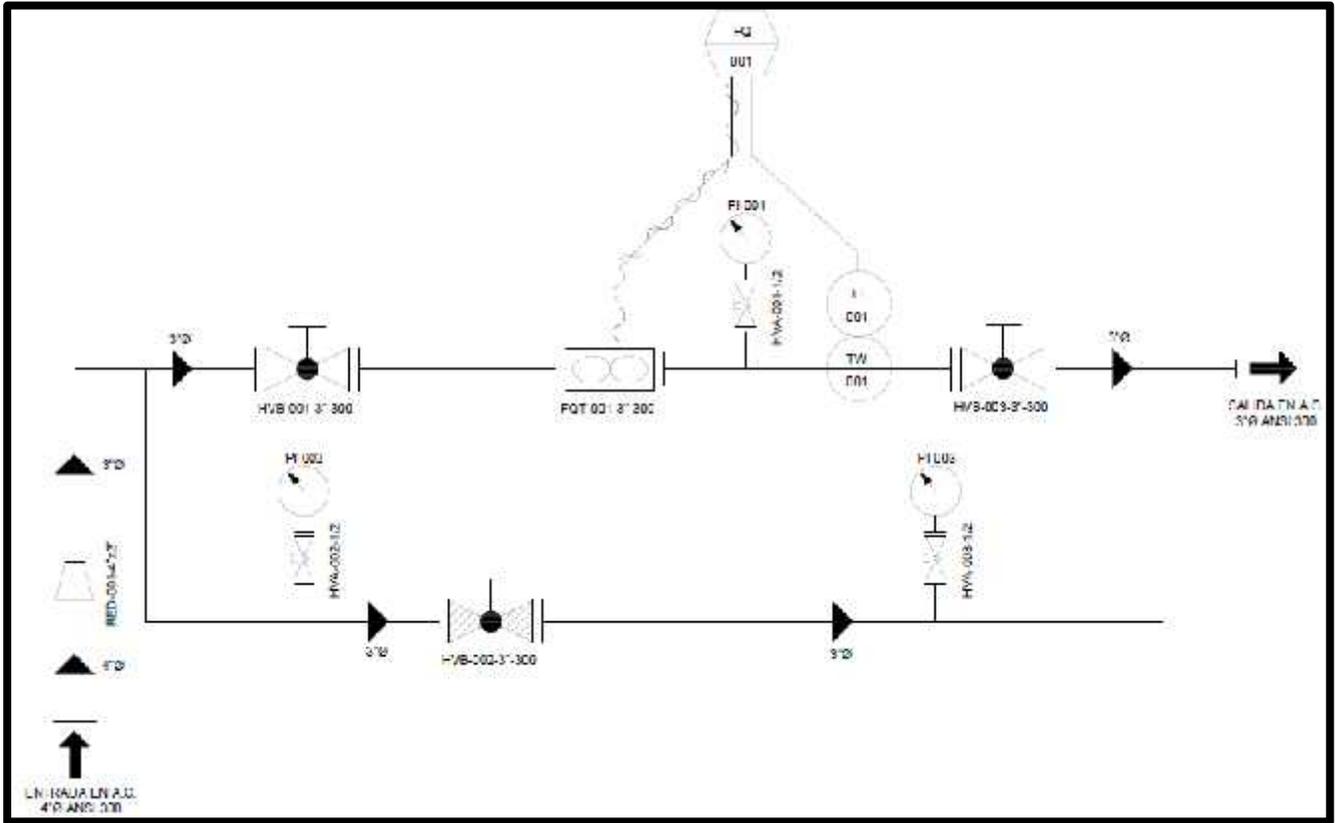


Figura 8. Diagrama de Tuberías e Instrumentación de la ERM.

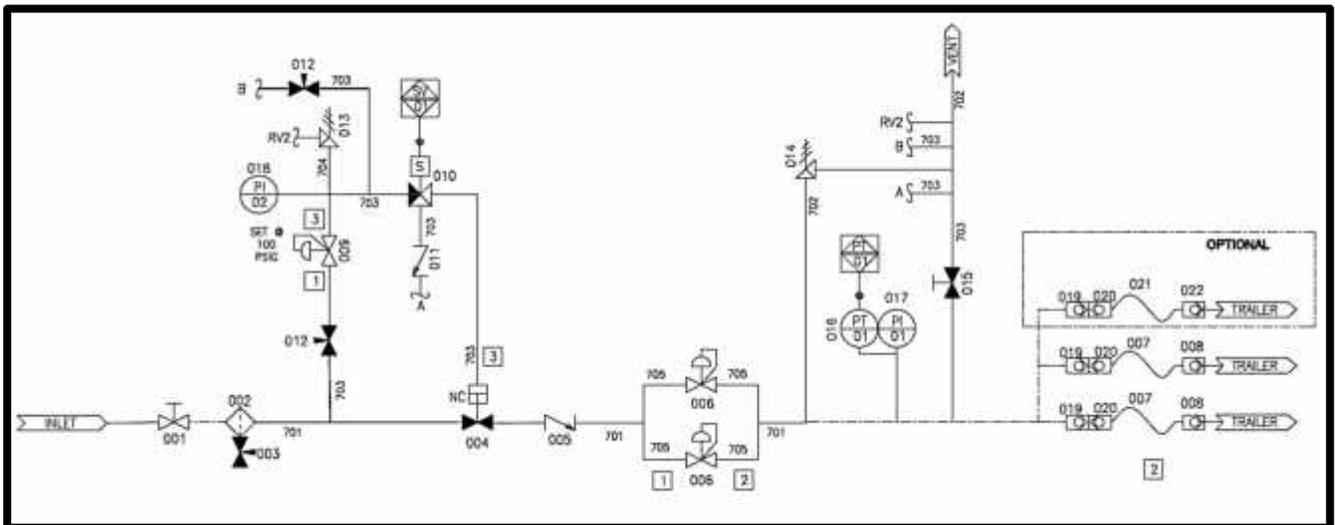


Figura 9. Diagrama de Tuberías e Instrumentación del poste de llenado (fill post).

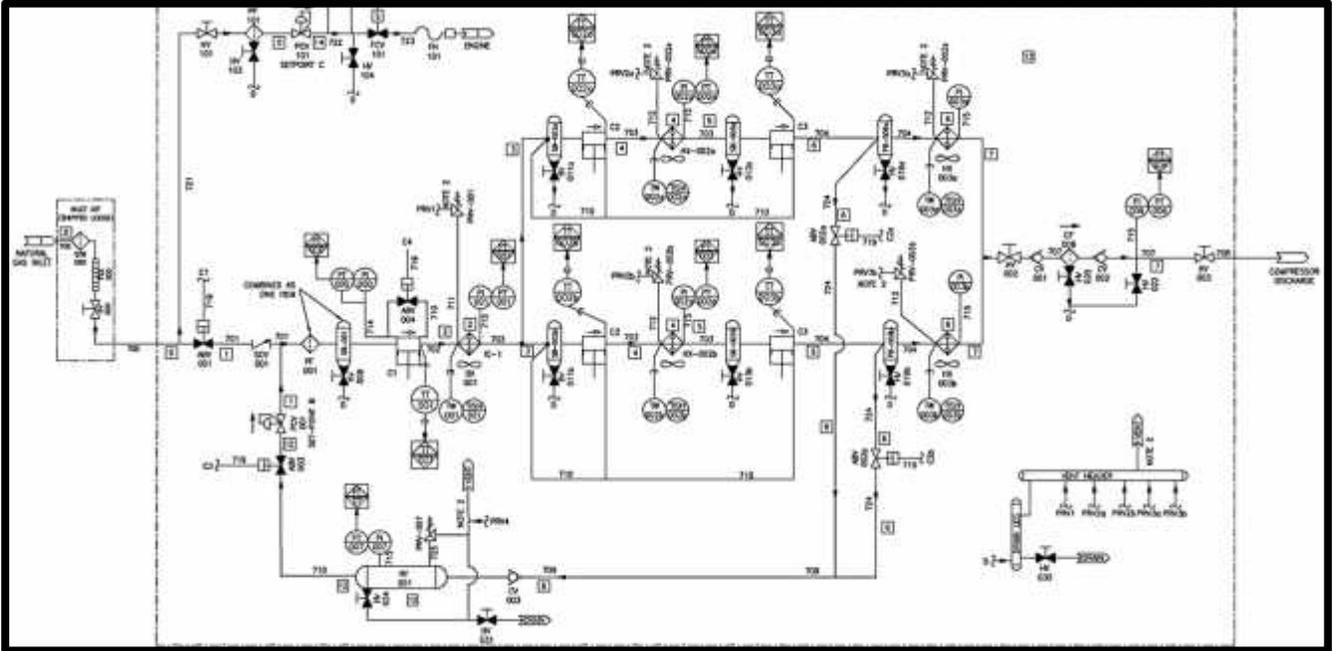


Figura 10. Diagrama de Tuberías e Instrumentación del equipo de compresión.

I.3.1. Especificación del cuarto de control.

Todo el proceso desarrollado en la Estación de Compresión será gestionado por un tablero principal de control localizado en el Cuarto de Control, que determina el momento de arranque/inicio de los equipos principales de la Estación, controla las presiones, temperaturas, entre otros. Además de esto, el tablero registra todos los datos de carga realizadas. La función es controlar automáticamente todos los parámetros de la Estación de Descompresión.

Los operadores de la estación pueden ver el estatus de los equipos de compresión y modificar algunos de los set-points de los parámetros de operación a través de una interface al PLC, localizada en el tablero del Cuarto de Control, llamado Panel View. Esta pantalla es el punto de inicio para la interface Hombre-Máquina, a través de unas teclas de función se puede tener acceso a la operación de ciertas válvulas y motores de forma manual, deshabilitando su operación automática, y con otras funciones se puede acceder a los valores de Set-Point de referencia los cuales permiten al usuario variar algunos de los parámetros de control como sea necesario, así también por medio de esta pantalla se pueden mostrar situaciones de alarma y también se puede tener conocimiento del historial de las mismas. Para el cambio de estos parámetros se requiere la autorización de un usuario experto.

Los equipos de despacho llamados fill post (postes de llenado), inician el llenado primeramente enviando gas a los tanques de almacenamiento del contenedor móvil. Una vez que la presión comienza a igualarse (al igual que el flujo disminuye), el PLC compara constantemente los parámetros de presión, para continuar y concluir la carga de la unidad móvil hasta llenarlo totalmente.



Tablero de control eléctrico.

- Panel eléctrico asegurable nema xii que alberga a todas las conexiones eléctricas adecuado para montaje remoto en locaciones no peligrosas (interiores).
- El medidor horario muestra las horas de operación del sistema de GNC.
- Contiene el switch de desconexión del motor principal con interbloqueo del panel de la puerta
- Contiene los contactos de motor, los interruptores, los transformadores, los terminales de los cables.
- La operación del compresor es completamente automática y auto motorizada con desconexiones de Seguridad automáticas e indicadores de estado para las siguientes condiciones de alarma:
 - Presión de entrada alta / baja.
 - Temperatura de descarga alta en todas las etapas.
 - Alta presión al final de la descarga.
 - Baja presión de aceite.
 - Nivel bajo de aceite (opcional).
 - Sobrecarga del motor impulsor.
 - Sobrecarga del motor del ventilador.
 - Voltaje alto / bajo (opción de protección de energía).
 - Botón pulsador de paro de emergencia (ESD) activado.
 - Detección del límite inferior explosivo del gas (LEL).
 - Detección del límite de fuego o de calor.
 - Monitoreo remoto PLC Upgrade con modem de 56.6 k y auto-marcador.

Así mismo, es importante no olvidar la seguridad de la Estación, misma ha sido considerada para que el personal operario tenga acceso a esta, de manera inmediata, es decir, existen botones de paro de emergencia, en cada unidad de despacho (fill post), equipos de compresión, equipo de filtrado o secador, cuarto de tableros, Oficinas y otros puntos, los cuales al ser activados, desenergizan totalmente los sistemas de compresión, cierran válvulas de succión y descarga de compresores. Seguido de lo anterior la activación de una alarma audible y sonora indica situación anormal de operación. Requiriendo para su reinicio de operación el reconocimiento de la alarma y la corrección del evento que originó el paro de los equipos.

Cada equipo de compresión (en cada etapa de compresión) y tanques de recuperación, así como tanques de almacenamiento del contenedor móvil y postes de llenado (fill post), cuenta con válvulas de seguridad calibradas para operar a una presión superior a la de operación normal.

Se cuenta con detectores de mezclas explosivas en las cabinas de los compresores, mismos que son monitoreados por el PLC y le permiten tomar decisiones como emitir desde una alarma cuando hay presencia de gas en el entorno, hasta dejar fuera de servicio el equipo de compresión al detectar una mezcla explosiva de alto riesgo.

Sistema de detección de gases / ventilación.

- Detector de gases digital completo con cabezal sensor recambiable.
- Ventila del ventilador activada al 20% lel (lower explosive limit - limite inferior explosivo).
- Sistema de apagado y alarma activados al 40% LEL.
- Paquete estándar de atenuación sonora (75 dBA a 3 m bajo condiciones de campo abierto).
- Material de atenuación sonora en el interior de la cabina.
- Protección con metal perforado sobre el material de atenuación en las puertas
- Aislamiento del skid para reducir las vibraciones de baja frecuencia
- Silenciadores de entrada y descarga proporcionados para enfriar el aire intercambiado



Cabe señalar, que los postes de llenado cuentan con válvulas de seguridad, que operan por una sobrepresión liberando el exceso de presión al ambiente.

I.3.2. Sistemas de aislamiento.

Como se mencionó anteriormente, todos estos procesos son gestionados por el tablero principal de control localizado en el CCM, el cual determina el momento de compresión de GN, controla la presión, él envió de gas al compresor y posteriormente a los postes de llenado para cargar los tanques de almacenamiento del contenedor móvil.

Aunado al anterior, la Estación de Compresión Tijuana contempla para las diferentes áreas y/o equipos con riesgos potenciales de incendio y explosión, sistemas de aislamiento, los cuales se enlistan a continuación:

- Sistema de venteo en el equipo de compresión, poste de llenado y tanques de almacenamiento del contenedor móvil (camión).
- Sistema de detección de mezclas explosivas en la cabina del equipo de compresión.

Se tienen instalados botones de paro de emergencia en los postes de llenado (fill post), equipos de compresión, equipo de filtrado o secador, cuarto de tableros, Oficinas y otros puntos, los cuales al ser activados, desenergizan los sistemas de compresión, cierran válvulas de succión y descarga, seguido a esto una alarma audible y sonora, la cual indica una situación anormal de operación; posteriormente para su reinicio de operaciones es necesario tener bien identificado donde se suscitó la alarma y que sea corregido el evento que origino el paro de los equipos.

I.4. Análisis y Evaluación de Riesgos.

1.4.1. Antecedentes de accidentes e incidentes.

Como datos históricos de incidentes y accidentes ocurridos en la operación de instalaciones de Gas Natural Comprimido (GNC), se presenta a continuación la descripción de casos ocurridos en México y otras partes del mundo, relacionados con explosiones y/o incendios en el manejo de GNC.

1. Explosión en Estación para Compresión de Gas Natural (ECGN) propiedad de Alternative Fuels S.A. Ciudad de Córdoba, Argentina.

La deflagración, que sacudió a prácticamente todo el vecindario, se produjo a las 2:41 del 16 de Julio del 2003, en el local Alianza Gas, propiedad de la firma Alternative Fuels S.A.

Producida la explosión, arribaron al lugar un grupo de la Dirección de Bomberos, técnicos de Ecogas, de Enargas, de ABI Ingeniería (firma responsable del mantenimiento) y personal de la Dirección de Inspección de Industria, Comercio y Control Alimentario de la Municipalidad de Córdoba. Estos últimos procedieron a clausurar, preventivamente, la estación dedicada exclusivamente al expendio de gas natural comprimido, para uso automotor.

En la ocasión, la firma mostró todas las habilitaciones en regla.

Ocurrida la explosión, "aproximadamente a las 4:30 se procedió al cierre de la válvula (C) del puente de medición para interrumpir el suministro de gas natural en el equipo compresor", según informó por escrito la Distribuidora Gas del Centro.

El documento indicó que "las causas que motivaron dicho siniestro no están establecidas".



Por su parte, al ser consultados por el accidente, voceros del ente nacional que controla la actividad (Enargas) remitieron todas las inquietudes a la información de la página que tiene el organismo en la red Internet (www.enargas.gob.ar).

El jefe de Bomberos, dijo que solicitó la intervención de los peritos en explosivos, para analizar si pudo tratarse o no de un atentado. No obstante, de medios policiales trascendió que se piensa más en un "caso fortuito" que por la ocurrencia de actos vandálicos. Terceros damnificados:

Al producirse la explosión, la pared de hormigón del búnker (como se llama al recinto a cielo abierto donde funciona el compresor) no sufrió grietas. La onda expansiva se filtró, con menor intensidad, por el pasillo de ingreso, cuyas puertas deben estar permanentemente abiertas, por razones de seguridad.

Como consecuencia de la deflagración, además del pánico de los vecinos, algunas viviendas aledañas sufrieron la rotura de vidrios y aberturas de madera. En tanto, tres trozos del cilindro (de un peso aprox. de 2 kg) cayeron en un jardín vecino.

2. Explosión en Estación de Gas Natural Comprimido (EGNC) propiedad de Neomexicana. Xoxtla, Puebla.

El día lunes 12 de noviembre del 2012, se presentó una importante fuga de gas que provocó la explosión e incendio de contenedores y vehículos de la empresa Neo Mexicana S.A. de C.V., ubicada en Avenida las Torres No. 18 de San Miguel Xoxtla, inmueble al cual acudieron más de 27 efectivos en 11 vehículos de bomberos, personal de Protección Civil y paramédicos del 066, durante estas acciones los bomberos al llegar al lugar se percataron de una columna de humo y flama de aproximadamente quince metros de altura, además de que al interior se combustionaban seis plataformas de tipo caja seca, contenedores de gas natural comprimido, 168 cilindros, un tractocamión marca Kenworth modelo 2001 y una camioneta tipo Pick Up con placas RG 31624 del Estado de Nuevo León.

De inmediato se procedió a la extinción y remoción de material inflamable para evitar el riesgo de un incendio mayor, ya que se encontraban cerca del siniestro, transformadores de energía eléctrica.

Personal del número de Emergencias 066, perteneciente al Centro Estatal de Control, Comando, Comunicaciones y Cómputo (C4), atendió la emergencia. Como consecuencia del siniestro resultaron lesionadas dos personas con quemaduras de primero y segundo grado en 10% del rostro y los brazos, así como quemaduras en rostro y manos, respectivamente.

La Secretaría General de Gobierno, informó que autoridades de esta dependencia se comunicaron con directivos de Neomexicana, quienes se comprometieron a brindar todo el apoyo y la colaboración que sean necesarios para identificar las causas que provocaron el incendio. También, anunciaron que cubrirán los posibles daños a particulares que hayan resultado afectados en sus bienes.

Fuente: Periódico Xelhua. La voz de Puebla y el Valle de Cholula.
Fecha de publicación: 14 de Noviembre del 2012

3. Explosión en estación de gas deja cuatro muertos.

14 de septiembre del 2016 Autoridades atribuyen la tragedia a una "mala manipulación" de un compresor de gas. Accidente se registró en la estación de servicio ubicada en la Cordialidad con carrera 10.

Las autoridades atribuyen a una posible "mala manipulación" la explosión de un compresor de 200 libras de gas natural vehicular, la cual causó las muertes de cuatro personas y heridas a cuatro.

"Había un personal técnico haciendo un mantenimiento al compresor y, al parecer, hubo una mala
NOMBRE DE PERSONA FISICA ART. 116 PÁRRAFO PRIMERO DE LA LGTAIP Y ART. 113 FRACCIÓN I DE LA LFTAIP



El accidente se registró este miércoles a las 11:20 de la mañana, en la estación de servicio (EDS) Biomax ubicada en la avenida Cordialidad con carrera 10, suroccidente de Barranquilla.

NOMBRE DE PERSONA FÍSICA ART. 116 PÁRRAFO PRIMERO DE LA LGTAIP Y ART. 113 FRACCIÓN I DE LA LFTAIP

NOMBRES DE PERSONA FÍSICA ART. 116 PÁRRAFO PRIMERO DE LA LGTAIP Y ART. 113 FRACCIÓN I DE LA LFTAIP

p.m. en la clínica La Merced, adonde ingresó con lesiones en la cabeza, fractura de tibia, peroné y cúbito. Era dueño de la empresa a cargo del mantenimiento, informó un tío suyo.

La emergencia fue atendida por dos máquinas del Cuerpo de Bomberos y funcionarios de la Secretaría distrital de Prevención y Desastres. Agentes de la Policía acordonaron el área para evitar que particulares se acercaran y entorpecieran la labor de levantamiento de los cuerpos, a cargo de peritos del CTI de la Fiscalía.

NOMBRE DE PERSONA FÍSICA ART. 116 PÁRRAFO PRIMERO DE LA LGTAIP Y ART. 113 FRACCIÓN I DE

“Fue importante el apoyo de Gases del Caribe, que hizo el control de las válvulas a fin de que no hubiera más flujo de gas hasta en el lugar”, manifestó.

Fuente: Periódico EL HERALDO.

Fecha de publicación: 15 de septiembre del 2016.

4. Un muerto y 18 heridos en explosión en planta de gas en Austria

Una persona murió y 18 resultaron heridas el día 12 de diciembre del 2017, en una explosión de una de las plantas de gas más grandes de Europa, situada en Austria. La Policía subrayó que el incidente se produjo por un problema técnico y que el caso está en manos de los investigadores regionales.

La nube de la detonación se veía incluso desde Viena, distante 30 kilómetros. La explosión se produjo a las 08:45 horas (07:45 GMT) en Baumgarten, una localidad cercana a la frontera con Eslovaquia, por donde entra a Austria el gas procedente de Rusia y Noruega.

La deflagración desató un incendio que pudo ser controlado tras varias horas. La Policía pidió a los ciudadanos que eviten la zona, donde 240 bomberos trabajaron en extinguir el incendio.

La central de Baumgarten distribuye gas desde el este al oeste, sur y sudeste de Europa. El abastecimiento hacia Austria, Alemania y Francia no se vio afectado, "pero podría haber problemas en la dirección sur", dijo un representante de Gas Connect Austria.

Fuente: Periódico El comercio.

Fecha de publicación: 12 de diciembre del 2017

5. Explosión en Callao

Al menos un muerto y tres heridos graves fue el resultado de la explosión en un grifo ubicado en el cruce de las avenidas Elmer Faucett y Nestor Gambetta, en el Callao.

A través de un comunicado, la empresa Repsol precisó que el accidente se generó en la Planta de Compresión de Gas Natural de Petrocorp S.A., contigua al grifo “Cantolao”. “Con esta compañía, Repsol mantiene un contrato de abanderamiento para el expendio de combustibles”.

La explosión “habría ocurrido presuntamente en la operación de carga de una batería de contenedores de Gas Natural Comprimido”. No obstante, aseguran que las causas siguen siendo materia de investigación.



NOMBRES DE PERSONA FÍSICA ART. 116 PÁRRAFO PRIMERO DE LA LGTAIP Y ART. 113 FRACCIÓN I DE LA LFTAIP

El accidente, que ocurrió a la 1 p.m. aproximadamente, hizo volar varios metros a algunos balones de gas y además causó daños materiales en vehículos cercanos

Fuente: Periódico El comercio.
Fecha de publicación: 02 de marzo del 2016
Fecha de publicación: 14 de septiembre del 2016

6. Se registra explosión en planta de gas natural en la Tinaja de Emiliano Zapata

Poco después de la 13:00 horas se registró una explosión en uno de los tanques de recuperación de líquidos de la Estación de Compresión de gas y petroquímica básica de PEMEX, ubicada en La Tinaja del municipio de Emiliano Zapata.

Debido a esto se evacuó a 38 empleados de manera precautoria; fuentes oficiales informaron que el área donde se realiza la separación de residuos se tapó, provocando la explosión denominada “cerrada” por lo que no hubo fuego.

Las mismas autoridades señalaron que estas explosiones ocurren con frecuencia, las cuales no representan peligro alguno para los trabajadores o la ciudadanía.

Elementos de Protección Civil acudieron de inmediato al saber sobre el accidente, sin embargo, la empresa controló la situación cerrando todas las compuertas como medida de seguridad; cerca de las 14:00 horas la situación ya estaba controlada por lo que los obreros regresaron a sus labores sin ningún problema.

Cabe destacar que la planta en donde se originó el percance se dedica a la distribución de gas natural y es esta la que se encargaría de suministrar al gasoducto que se pretende construir entre Emiliano Zapata y Coatepec, mismo que pasaría por la capital del estado

Fuente: Econsulta.
Fecha de publicación: 22 de abril del 2015

Aunado a lo anterior, a continuación, se incluye una tabla donde se indican accidentes ocurridos en plantas de Gas Natural Comprimido en diferentes partes del mundo y las causas más probables (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Antecedentes de accidentes e incidentes de Gas Natural.

| No. | Año | Ciudad y/o país | Instalación | Sustancias involucradas | Evento o causa del accidente | Nivel de afectación (personal, población, medio ambiente) | Acciones realizadas para su atención |
|-----|---------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------|------------------------------|---|---|
| 1 | 16 julio del 2003 | Córdoba, Argentina | Estación de Compresión ECGN | Gas natural | Explosión | Viviendas sufrieron algunos daños | La Estación fue clausurada |
| 2 | 12 de noviembre del 2012 | Xoxtla, Puebla | Estación Gas Natural Comprimido | Gas natural | Explosión e incendio | 2 personas lesionadas | Extinción y remoción del material inflamable |
| 3 | 14 de septiembre del 2016 | Av. Cordialidad con carretera 10 | Estación de Servicio Biomax | Gas Natural | Explosión | 4 muertos y 4 lesionados | La emergencia fue atendida por dos máquinas del cuerpo de bomberos y funcionarios de la secretaria distrital de Prevención y Desastres y apoyo de Gases del Caribe, que |



| No. | Año | Ciudad y/o país | Instalación | Sustancias involucradas | Evento o causa del accidente | Nivel de afectación (personal, población, medio ambiente) | Acciones realizadas para su atención |
|-----|----------------------|---------------------------|---|-------------------------|------------------------------|---|--|
| | | | | | | | hizo el control de las válvulas a fin de que no hubiera más flujo de gas |
| 4 | 12 de diciembre 2017 | Baumgarten, Austria | N/D | Gas Natural | Explosión | 1 muerto y 18 lesionados | Atención inmediata por parte del cuerpo de bomberos del municipio (240). Suspensión de los servicios de gas |
| 5 | 02 de marzo del 2016 | Callao, Perú | Planta de Compresión de Gas Natural de Petrocorp S.A. | Gas Natural | Explosión | 1 muerto y 3 heridos graves | N/D |
| 6 | 22 de abril del 2015 | Emiliano Zapata, Veracruz | Estación de compresión | Gas Natural | Explosión | Suspensión de actividades por una hora | Evacuación de 38 empleados |

1.4.2. Metodologías de identificación y jerarquización.

Los estudios de riesgo involucran principalmente tres grandes temas; la identificación de los riesgos, la probabilidad de ocurrencia de accidentes o eventos y el análisis de consecuencias.

La identificación de los riesgos permite determinar las localizaciones, rutas, características y cantidad de materiales de fuentes potenciales de accidentes por explosión, incendio, fuga o derrame de una sustancia peligrosa. Esto lleva a la formulación de escenarios fundamentales de accidentes, que requieren una mayor consideración y análisis.

El análisis probabilístico permite identificar la verosimilitud de ocurrencia del accidente para examinar y priorizar los escenarios de accidentes potenciales en términos de su probabilidad de ocurrencia.

La evaluación de las consecuencias e impactos asociados con la ocurrencia de los escenarios identificados de accidentes, es el proceso denominado análisis de consecuencias. Este paso permite una comprensión de la naturaleza y gravedad de un accidente y permite un análisis y priorización de los escenarios en términos del impacto potencial del daño en la gente y las instalaciones.

La combinación de resultados de la probabilidad del accidente y del análisis de consecuencias da una medida del riesgo con la actividad específica y este proceso es lo que constituye el análisis de riesgos, que permite, priorizar y examinar los escenarios potenciales de accidentes en términos de un riesgo total, que a la vez logre el desarrollo y preparación de un plan de emergencias.

Para la identificación de los riesgos involucrados con los procesos de la Estación de Compresión, se analizarán las condiciones de operación y de los equipos auxiliares que serán instalados en la estación, para lo cual, se cuenta con los Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI's), así como las memorias técnico descriptivas del proceso.

En base al análisis de falla, se identifican aquellos puntos vulnerables donde exista mayor probabilidad de riesgo de que ocurra un evento no deseado, los cuales estarán dados principalmente por tuberías de alta y baja presión, filtros, válvulas, medidores de flujo, uniones e interconexiones, los cuales son equipos e instrumentos expuestos a fallas por rotura, por desgaste o por simple defecto de fabricación, además de que el riesgo aumenta si éstos no son conservados debidamente por la efectiva aplicación de un programa de mantenimiento y la supervisión constante de los mismos, sin descartar fallas por el factor humano, vandalismo o actividades antropogénicas.



Aunado a lo anterior, se analizan las situaciones donde la presencia de algún evento no deseado, como una explosión o un incendio en la Estación de Compresión, puedan afectar a otras instalaciones ya que en caso de ocurrir una fuga de gas natural que entre en contacto con una fuente de ignición, puede llegar a ocasionar un chorro de fuego que afecte a dichas instalaciones, y que por las características de inflamabilidad de la sustancia que en ellas se maneja, el evento pueda desencadenar un evento mayor, con mayores repercusiones a la infraestructura de la zona y daños al medio ambiente (efecto dominó).

Una vez identificados los riesgos presentes en la operación de la Estación de Compresión, se evalúa la probabilidad de ocurrencia de accidentes o eventos relacionados con dichos riesgos, en base a datos históricos ocurridos en condiciones semejantes de operación, así como en base a las recomendaciones de falla del fabricante de los instrumentos de medición, control y regulación, para así determinar cuantitativamente la probabilidad de que ocurran accidentes en los componentes de la estación, mismos que puedan afectar a la población circundante y al medio ambiente, principalmente.

Al definir la probabilidad de ocurrencia de accidentes de una forma analítica y objetiva, aplicando métodos cualitativa y cuantitativamente, se determina el análisis de las consecuencias y los resultados que se pueden obtener en caso de ocurrir un evento catastrófico en la operación de la Estación de Compresión, lo cual se realiza, empleando las metodologías específicas para obtener las consecuencias de los eventos lo más objetivo posible, tal es el caso del Análisis HAZOP, mismos que se describen más adelante.

Garza Ayala, Sergio. (2015) Análisis de Riesgo Peligrosos en los Procesos, Parte 1: Metodologías. (1ª. Ed) Monterrey, NL.: Dinámica Heurística, S. A. de C. V.

Hyatt, Nigel. (2004) Guidelines for Process Hazards Analysis, Hazards Identification and Risk Analysis. (1ª. Ed) DYADEM Press

Storch de Gracia, J. M. (1998) Manual de Seguridad Industrial en Plantas Químicas y Petroleras, Fundamentos, evaluación de riesgo y diseño. Volumen 1. (1ª. Ed) España.:McGraw-Hill/Interamericana de España, S. A. U.

Storch de Gracia, J. M. (1998) Manual de Seguridad Industrial en Plantas Químicas y Petroleras, Fundamentos, evaluación de riesgo y diseño. Volumen 2. (1ª. Ed) España.:McGraw-Hill/Interamericana de España, S. A. U.

Cabe mencionar, que todas las técnicas de evaluación de riesgos comparten la meta de identificar peligros en el proceso de manera sistemática y proporcionar un análisis preliminar, dando la primera fase del estudio. Las técnicas comúnmente usadas para esta evaluación deben cumplir los requerimientos de análisis de riesgo contemplados en la OSHA (Occupational Safety and Health Administration), EPA (Environmental Protection Agency) y la CMA (Chemical Manufacturers Association, así como en Literatura especializada como, Loss Prevention in the Process Industries. Frank P. Less, second edition.

Con el objetivo de evaluar el riesgo de presentarse incidentes en la operación, se seleccionó la metodología HAZOP y así emitir recomendaciones tendientes a controlar y prevenir incidentes, mitigar las consecuencias para evitar pérdidas humanas, daños a la salud, a las instalaciones y medio ambiente.

El HAZOP fue seleccionado porque es un método completo y por lo regular se utiliza en sistemas de proceso de la industria energética para evaluar el riesgo considerando factores como: tipo de proceso y las condiciones de operación.

A. HAZOP.

El método Hazop (**HAZ**ard and **OP**erability “Riesgo y Operabilidad”) o análisis de Riesgo y de Operabilidad se concentra en una metodología mediante un enfoque sistémico para identificar tanto riesgos como problemas de operatividad, más del 80% de las recomendaciones del estudio son problemas de operatividad y no problemas de riesgo. Aunque la identificación de riesgos es el tema principal, los



problemas de operatividad se examinan, ya que tienen el potencial de producir riesgos en los procesos, que resulten en violaciones ambientales y/o laborales o tener un impacto negativo en la productividad.

El análisis de operación y riesgo HAZOP, es el método más amplio y reconocido para realizar un análisis de riesgo en procesos industriales. El análisis HAZOP, es un estudio que identifica cada desviación posible de un diseño, de una operación o de una afectación cualquiera, además de todas las posibles causas y consecuencias que pueden ocurrir en las condiciones más adversas para el proceso, siendo así, sirve para identificar problemas de seguridad y mejorar la operatividad de una instalación industrial.

Los aspectos complementarios en la identificación de peligros y evaluación de riesgos, utilizados en el presente análisis de riesgos, se indican a continuación:

1. HAZOP. Metodología de análisis de riesgos que analiza las variables operacionales de sistemas de tuberías y equipos de proceso, para determinar las posibles fallas en la operación de estos, mediante la designación de Nodos y la aplicación de palabras guía. Este método da como resultado la matriz de riesgos.
2. Es importante resaltar que con este método se analizan las desviaciones propias que pueden presentarse con la operación, y deriva en recomendaciones que son complementarias para aumentar la seguridad en la operación de esta.
3. En la elaboración del HAZOP se asignan ponderaciones a los parámetros de Probabilidad y Severidad, con lo que, en base a lo establecido en la matriz de riesgos, se determina el Nivel de Riesgo de cada desviación analizada. Con lo anterior, una vez realizado el HAZOP se realiza la Matriz de Riesgo de acuerdo con los resultados de este.
4. Una vez identificadas las desviaciones (fallas) que resultaron de mayor riesgo en el HAZOP, se identificaron y describieron las fallas de mayor riesgo con repercusiones al ambiente.
5. Para el conjunto de fallas identificado, se determinó la probabilidad de ocurrencia con la metodología Árbol de Fallas.

El proceso del HAZOP involucra aplicar de una manera sistemática, todas las combinaciones relevantes de palabras claves a la planta bajo estudio, en un esfuerzo de descubrir los problemas potenciales. Los resultados se registran, en un formato de tabla o matriz con encabezados principales, identificados por palabras guía.

A manera de resumen, en el presente Análisis de Riesgos se emplearon las siguientes metodologías:

- a) HAZOP para determinar las desviaciones (fallas) de mayor riesgo en las instalaciones, mismas que pueden repercutir en eventos de riesgo con potencial daño de la infraestructura y al medio ambiente.
- b) Árbol de Fallas, para determinar la probabilidad de ocurrencia de desviaciones de mayor riesgo ambiental identificadas en el HAZOP y proponer escenarios de simulación.
- c) Software SCRI, para realizar el análisis de consecuencias acorde a los resultados de simulación.

La información necesaria referente a la Instrumentación de la Estación de Compresión Tijuana, se obtuvo de los Diagramas de Tubería e Instrumentación elaborados en la fase de Diseño del presente proyecto.

Tabla 3. Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI) utilizado.

| ID del Plano | Título (DTI) |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| GNC-BCN-TIJ-ETI-EC-ASEA-DTI-AM-19-01 | DTI de la ERM |
| 700565 | DTI de los Postes de Llenado |
| 702457 | DTI del Sistema de Compresión |



Para mayor detalle, **Ver Anexo 4. Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI).**

El HAZOP fue realizado bajo el siguiente procedimiento:

1. Selección de nodos. El proceso se analiza seccionándolo en partes discretas o nodos. Un nodo es generalmente una línea o un recipiente o un procedimiento. Los nodos deben ser bastante pequeños para ser manejables, y a la vez lo bastante grandes para reducir la duplicación y hacer buen uso del tiempo. Se determinaron en base a las etapas del proceso.
2. Registro de la intención, los parámetros de diseño y las condiciones de proceso. Es decir, parámetros de diseño del equipo, condiciones de operación normales y máximas. Esto incluye típicamente la temperatura, la presión, la composición, el nivel, el flujo, etc.
3. Repaso con el equipo la matriz de desviación preparada previamente para este nodo y agregue otras desviaciones si es necesario.
4. Identificar las causas o las razones por las que las desviaciones pueden ocurrir. Las causas deben ser locales en el origen, es decir, se originan en el nodo bajo evaluación. Con el nodo de la alimentación o de la fuente, considere causas en aguas arriba. Donde no haya causas identificadas escribir "ninguna causa".

El estudio del HAZOP sólo considera eventos causales únicos (errores o fallas). Escenarios que requieran de analizar dos fallas separadas, dos errores de operador o una falla más un error son considerados "doble falla" y no son considerados normalmente durante un estudio de HAZOP.

Los drenes y válvulas que están normalmente cerradas, y con tapones o bridas ciegas, no son considerados fuentes de fugas. Similarmente, medidores reemplazables localizados en las tuberías con válvulas de raíz no son consideradas fuentes de fuga, si el procedimiento estándar requiere verificar que la válvula esté cerrada y el sistema al cual está conectado ya sea que este despresurizado o bien que no surja ningún riesgo debido a una fuga, o la apertura de dos válvulas en serie simultáneamente no es considerada una causa creíble para la fuga o mezcla de fluidos, etc.

La Causa deberá estar en el Nodo en cuestión.

5. Identifique las consecuencias o los resultados de las desviaciones asumiendo que los controles básicos de proceso fallan y las salvaguardas no existen. Considere las consecuencias fuera del nodo así como del interior. Si no hay consecuencias de que preocuparse, escribir "ninguna consecuencia de preocupación".

Las Consecuencias podrán ser identificadas dentro del nodo o en todo el universo de la planta.

6. Identifique la severidad de las consecuencias identificadas asumiendo que los sistemas básicos de control y los sistemas de protección fallan.
7. Identifique las capas adicionales de protección requeridas para reducir el riesgo a un nivel aceptable. Si el riesgo del peligro no se ha reducido a un nivel aceptable, la eficacia de las capas propuestas debe ser mejorada o capas adicionales deben ser agregadas según sea necesario.
8. Asigne una categoría a la consecuencia identificada.
9. Asigne una categoría a la probabilidad de ocurrencia de la consecuencia analizada, considerando esta vez los sistemas de control y/o capas de protección válidas, así como cualquier otro modificador de frecuencia que aplique.
10. Identifique las recomendaciones y asigne las responsabilidades. Donde esté clara una solución específica, deberá ser registrada como tal. Los equipos a menudo se detienen a intentar conseguir una recomendación. Es absolutamente apropiado que la recomendación sea investigar las medidas de protección apropiadas. Es también bueno redactar las recomendaciones que permitan una cierta



flexibilidad, por ejemplo, diciendo: considerar tales y tal opción. La recomendación se debe escribir con bastante detalle para poder entender el intento sin el resto de la hoja de trabajo delante del lector.

A.1 Nodos Seleccionados para el Desarrollo del Análisis de Riesgo de Operabilidad “HAZOP”.

Para facilitar el análisis de riesgos y la aplicación de la técnica HAZOP, se analizaron 4 nodos con apego a los Diagramas de Tubería e Instrumentación, mismos que se describen a continuación:

Tabla 4. Nodos Seleccionados.

| Nodo | Descripción | DTI |
|------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | Acometida de Gas Natural (ERM) | GNC-BCN-TIJ-ETI-EC-ASEA-DTI-AM-19-01 |
| 2 | Sistema de Compresión | 702457 |
| 3 | Postes de Llenado (Fill post) | 700565 |
| 4 | Tanques de Almacenamiento | 700565 |

Ver Anexo 5. Análisis HAZOP, el desarrollo de cada uno de los HAZOP realizados.

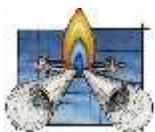
Es importante mencionar que el número de nodos analizados, se determinó en base a las etapas del proceso del sistema de GNC, considerando sus características propias. Como ya se mencionó, para la selección de nodos se consideró el DTI del proyecto, al igual que la descripción del proceso del proyecto para establecer los nodos y sus fronteras. De los nodos seleccionados, se tomaron las características, parámetros y variables de operación del proceso para su análisis.

La determinación del riesgo se hizo como se indica a continuación:

- En la tabla de Severidad: En función del riesgo que se tendría, se selecciona la descripción de la consecuencia que podría ocurrir y se busca el número correspondiente en la parte superior de la tabla.
- En la tabla de Frecuencia, en función de la frecuencia de la posibilidad de ocurrencia y con el número obtenido de la tabla de Consecuencia, se obtiene la letra correspondiente al grado de riesgo, para Seguridad a la Vida.
- Se repiten los pasos anteriores para daños a las instalaciones, medio ambiente y operativo.
- De las categorías de riesgos obtenidos para la seguridad a la vida, daños a las instalaciones y operativo, se selecciona el menor en el orden alfabético y es el que se utiliza para calificar el grado de riesgo de la medida correctiva de incidente.
- Para establecer la Matriz de Rango de Riesgo (Risk Ranking) con la cual se calificaron y jerarquizaron los riesgos identificados, asignando niveles de Severidad de acuerdo a lo que indica la **Tabla 5**, así como la Frecuencia de Falla de acuerdo a lo que establece la **Tabla 6**, con la cual, mediante lo establecido en la **Tablas 7 y 8**, se determina el nivel o categoría de Riesgo.

Tabla 5. Categorías de severidad de accidente sugeridas. (MIL-STD-882D, 2000).

| Valor | Categoría | Criterio del impacto ambiental, a la seguridad o a la salud. |
|-------|---------------|---|
| 4 | Catastrófica. | Puede resultar en muerte, discapacidad total permanente, pérdida excediendo 1.000.000 USD o daño ambiental severo irreversible que viola ley o regulación. |
| 3 | Crítico | Puede resultar en discapacidad parcial permanente, heridas o enfermedad laboral que resulte en la hospitalización de al menos tres personas del personal, pérdida excediendo los 200.000 USD pero menos de 1.000.000 USD o daño ambiental reversible que viola ley o regulación |



| | | |
|---|----------------|--|
| 2 | Marginal | Puede resultar en herida o enfermedad laboral resultando en uno o más días perdidos, pérdida excediendo los 10.000 USD pero menos de 200.000 USD, o daño ambiental mitigable sin lugar a violación de ley o regulación donde actividades de restauración pueden conseguirse. |
| 1 | Insignificante | Puede resultar en herida o enfermedad sin causar la pérdida de un día de trabajo, pérdida excediendo los 2.000 USD pero menos de 10.000 USD, o daño ambiental mínimo sin lugar a violación de ley o norma. |

Tabla 6. Niveles de probabilidad de accidente sugeridos. (MIL-STD-882D, 2000).

| Valor | Categoría | Descripción | Criterio del rango de eventos considerados |
|-------|------------|--|--|
| 5 | Frecuente | Experimentado continuamente | Probable de ocurrir seguido en la vida de un elemento, con una probabilidad mayor que 10^{-1} en ese período de vida. Probable que ocurra frecuentemente |
| 4 | Probable | Ocurrirá frecuentemente. | Ocorre varias veces en la vida de un elemento, con una probabilidad de ocurrencia menor que 10^{-1} pero mayor que 10^{-2} en ese período de vida. Puede ocurrir varias veces en la vida del equipo o proceso |
| 3 | Ocasional | Ocurrirá varias veces. | Probable de ocurrir a veces en la vida de un elemento, con una probabilidad de ocurrencia menor que 10^{-2} pero mayor que 10^{-3} en ese período de vida. Probable que ocurra alguna vez en la vida del equipo o proceso. |
| 2 | Remoto | Improbable pero puede razonablemente esperarse que ocurra. | Improbable pero posible de ocurrir durante la vida de un elemento, con una probabilidad de ocurrencia menor que 10^{-3} pero mayor que 10^{-6} en ese período de vida. Improbable pero es posible que ocurra |
| 1 | Improbable | Improbable de ocurrir, pero posible. | Tan improbable que puede asumirse que no se experimentará durante la vida de un elemento, con una probabilidad de ocurrencia menor que 10^{-6} en ese período de vida. Tan improbable que se asume casi imposible |

Tabla 7. Matriz de Riesgos.

| Frecuencia | Severidad | | | |
|---------------|-----------------|------------|-------------|-------------------|
| | 4. Catastrófica | 3. Critico | 2. Marginal | 1. Insignificante |
| 5. Frecuente | A1 | A3 | B7 | C13 |
| 4. Probable | A2 | A5 | B9 | C16 |
| 3. Ocasional | A4 | B6 | C11 | D18 |
| 2. Remoto | B8 | C10 | C14 | D19 |
| 1. Improbable | C12 | C15 | C17 | D20 |

A Riesgo Inaceptable
B Riesgo Indeseable

C Aceptable con revisión
D Aceptable sin revisión.



Tabla 8. Categorías de riesgo. (MIL-STD-882D, 2000).

| Valor de la evaluación | Categoría del riesgo |
|------------------------|----------------------|
| 1 – 5 | Alto |
| 6 – 9 | Serio |
| 10 – 17 | Medio |
| 18 – 20 | Bajo |

Fuente: MIL-STD-882D. 2000. Standard Practice For System Safety. Normalizado por Department of Defense of the United States of America.

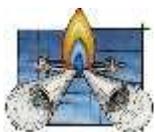
Los riesgos no tolerables (serio - alto) se deberán considerar para establecer los objetivos de seguridad y salud ocupacional, así como los requisitos de las instalaciones, maquinaria, necesidades de capacitación y los controles operacionales para el control de riesgos, de igual manera, se deberá considerar las acciones requeridas de supervisión para asegurar la efectividad y oportunidad.

El proceso se dividió en 4 nodos. Los equipos de trabajo se conformaron por especialistas de las áreas de proceso, mantenimiento, y seguridad y protección ambiental.

A continuación, se incluye la matriz de riesgos con los resultados de cada uno de los 4 nodos evaluados en el HAZOP, el cual fue determinado después de considerar las salvaguardas:

Tabla 9. Matriz de Riesgo considerando los resultados del HAZOP.

| Nodo | Desviación | Causa | Categoría de Riesgo | | | |
|-------|---------------------|-------|---------------------|-----|----|---|
| | | | D | C | B | A |
| 1 | 1.1. No hay flujo | 1.1.1 | D19 | | | |
| | | 1.1.2 | D19 | | | |
| | 1.2 Menos flujo | 1.2.1 | D19 | | | |
| | | 1.2.2 | | | B6 | |
| | 1.3 Mas flujo | 1.3.1 | | | B6 | |
| | | 1.3.2 | | | | |
| | 1.4 Menos presión | 1.4.1 | D19 | | | |
| | | 1.4.2 | D19 | | | |
| | | 1.4.3 | | | B6 | |
| | 1.5 Corrosión | 1.5.1 | | | B6 | |
| 1.5.2 | | | C10 | | | |
| 2 | 1.1 No hay flujo | 1.1.1 | | C14 | | |
| | | 1.1.2 | D18 | | | |
| | | 1.1.3 | | C11 | | |
| | 1.2 Menos flujo | 1.2.1 | D19 | | | |
| | | 1.2.2 | D19 | | | |
| | 1.3 No hay presión | 1.3.1 | | C14 | | |
| | | 1.3.2 | | C14 | | |
| | | 1.3.3 | D19 | | | |
| | 1.4. Menos presión | 1.4.1 | D19 | | | |
| | | 1.4.2 | | | B6 | |
| | | 1.4.3 | | C11 | | |
| | 1.5 Más presión | 1.5.1 | | C11 | | |
| | 1.6 Más temperatura | 1.6.1 | | | B6 | |



| Nodo | Desviación | Causa | Categoría de Riesgo | | | |
|------|--------------------|---------------------|---------------------|-----|-----|---|
| | | | D | C | B | A |
| 3 | 1.7 Corrosión | 1.6.2 | | C10 | | |
| | | 1.7.1 | | C10 | | |
| | 1.1 No hay flujo | 1.1.1 | D18 | | | |
| | | 1.1.2 | D19 | | | |
| | 1.2 Menos flujo | 1.2.1 | D18 | | | |
| | | 1.3.1 | | C14 | | |
| | 1.3 No hay presión | 1.3.2 | | C14 | | |
| | | 1.3.3 | | C14 | | |
| | | 1.4.1 | | C10 | | |
| | 1.4 Menos presión | 1.4.2 | D18 | | | |
| | | 1.5.1 | | | B6 | |
| | 1.5 Más presión | 1.5.2 | | C10 | | |
| | | 1.5.3 | | | B6 | |
| | | 1.6 Mas temperatura | 1.6.1 | | C10 | |
| 4 | 1.1 No hay presión | 1.1.1 | D19 | | | |
| | | 1.1.2 | | | | |
| | | 1.1.3 | D19 | | B6 | |
| | 1.2 Menos flujo | 1.2.1 | D19 | | | |
| | | 1.2.2 | | C10 | | |
| | 1.3 Más presión | 1.3.1 | | | B6 | |

Tabla 10. Descripción de las Fallas de Mayor Riesgo.

| Nodo | Desviación | Causa | Consecuencias significativas |
|-----------|---|---|--|
| 1 | Menos flujo | Abertura incorrecta de válvula de desfogue/drenado del filtro coalescente. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Liberación (fuga) de gas natural que al entrar en contacto con una fuente de ignición, se puede presentar un caso de incendio y/o explosión. |
| | | Falla en el cierre de la válvula de aguja de purga del filtro coalescente en las actividades de mantenimiento. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Posible liberación de gas natural que al entrar en contacto con una fuente de ignición, se puede presentar un caso de incendio y/o explosión |
| | Mas Flujo | Problemas de control en el ducto de 4", aguas arriba de la estación proveniente en la acometida del proveedor. | <ul style="list-style-type: none"> • Posible daño a equipo de medición. • Posible paso de partículas liquidas del elemento filtrante. • Posible liberación de gas natural que al entrar en contacto con una fuente de ignición, se puede presentar un caso de incendio y/o explosión. |
| Corrosión | Saturación del filtro coalescente ocasionando el paso de impurezas. | <ul style="list-style-type: none"> • Gas fuera de especificaciones por el paso de partículas liquidas. • Fisuras en las uniones de los accesorios con la tubería en la acometida. • Posible liberación de gas natural que al entrar en contacto con una fuente de ignición, se puede | |



| Nodo | Desviación | Causa | Consecuencias significativas |
|-------------|-------------------|--|--|
| | | | presentar un caso de incendio y/o explosión. |
| 2 | Menos presión | Falla en los sellos mecánicos del compresor | <ul style="list-style-type: none"> • Posible liberación de gas natural que al entrar en contacto con una fuente de ignición, se puede presentar un caso de incendio y/o explosión. |
| | Mas temperatura | Falla en el intercambiador de calor del equipo de compresión. | <ul style="list-style-type: none"> • Descarga de alta presión y temperatura a la línea de salida de los compresores. • Fallas en la integridad estructural de las bridas conexiones y/o accesorios del ducto de descarga. • Posible liberación de gas natural que al entrar en contacto con una fuente de ignición, se puede presentar un caso de incendio y/o explosión. |
| 3 | Más presión | Falla en la válvula de seguridad (calibrada a 281 bar), quedándose cerrada. | <ul style="list-style-type: none"> • Sobrepresión en la línea • Posible liberación de gas natural por las bridas conexiones y/o accesorios de la línea de conducción, que al entrar en contacto con una fuente de ignición, se puede presentar un caso de incendio y/o explosión con un posible efecto domino con el sistema de compresión. |
| | | Falla de las válvulas de expansión (resorte de resistencia calibrado a una presión de 250 bar) quedándose cerradas | <ul style="list-style-type: none"> • Sobrepresión en las líneas aguas debajo de las válvulas de expansión • Sobrepresión de la válvula check. • Posible liberación de gas natural que al entrar en contacto con una fuente de ignición, se puede presentar un caso de incendio y/o explosión con un posible efecto domino a los dispensarios de diésel. |
| 4 | No hay flujo | Rotura de la manguera por movimiento del contenedor móvil (camión) | <ul style="list-style-type: none"> • Fuga de gas con riesgo de incendio o explosión si entra en contacto con una fuente de ignición. |
| | Más presión | Falla del PLC al enviar una señal errónea sobre la presión de los Tanques, suministrando más gas respecto a su máxima capacidad. | <ul style="list-style-type: none"> • Sobrepresión de los tanques de almacenamiento del contenedor móvil. • Aumento de la temperatura de los tanques de almacenamiento. • Posible liberación de gas natural que al entrar en contacto con una fuente de ignición, se puede presentar un caso de incendio y/o explosión. |

Debido a que en los resultados de la anterior Matriz de Riesgos de los 4 nodos, existen fallas de nivel **C** y **B** (de acuerdo a los resultados del HAZOP), a partir de dichos resultados la determinación de los escenarios de simulación se hace compleja, por lo que se decidió aplicar métodos más específicos en el proceso de jerarquización de riesgos; de modo que en un primer momento se recurrió a la técnica del juicio de expertos, la cual, consta de un filtro en el que se descartaron aquellas fallas o desviaciones identificadas en el HAZOP que no repercuten significativamente en el ambiente, es decir, que no desencadenan una fuga de gas con repercusiones de fuego o explosión, por lo que a partir de dicho filtro, se determinaron los escenarios de simulación.



Para mayor detalle, **Anexo 5. Análisis HAZOP.**

B. Árbol de Fallas.

Análisis Cuantitativo de Riesgo.

El árbol de fallas es una herramienta empleada para el análisis de cómo pueden llegar a ocurrir y de las posibles interrelaciones entre los eventos. Se trata de un proceso deductivo que permite determinar cómo puede tener lugar un suceso en particular apoyado en la cuantificación de los riesgos involucrados.

El árbol de fallas descompone un accidente en sus elementos contribuyentes, ya sean éstos, fallas humanas o de equipos del proceso y sucesos externos, principalmente. El resultado es una representación lógica en la que aparecen cadenas de sucesos capaces de generar un suceso culminante que ocupa la cúspide del árbol.

De manera sistemática y lógica se representan las combinaciones de las situaciones que pueden dar lugar a la producción del "Evento Top", conformando niveles sucesivos de tal manera que cada suceso esté generado a partir de sucesos del nivel inferior, siendo el nexo de unión entre niveles la existencia de "operadores o puertas lógicas (OR y AND)".

El árbol se desarrolla en sus distintas ramas hasta alcanzar una serie de "sucesos básicos", denominados así porque no precisan de otros anteriores a ellos para ser explicados. También alguna rama puede terminar por alcanzar un "suceso no desarrollado" en otros, sea por falta de información o por la poca utilidad de analizar las causas que lo producen.

La metodología empleada consiste en representar cada interrelación con un símbolo del álgebra de Boole.

Si para la ocurrencia de un evento se requiere que dos o más condiciones se cumplan simultáneamente, se utiliza el símbolo "AND" y si para la ocurrencia sólo se requiere que una de dos o más condiciones se cumpla, se usa la compuerta "OR". Multiplicando y/o sumando todas las probabilidades de los eventos contribuyentes unidos mediante una misma compuerta "AND" o "OR", se obtiene la probabilidad del evento del siguiente nivel jerárquico.

En este caso de analizar los modos y efectos de fallas en la Estación se utilizan modelos de fallas de componentes y se analizan sus efectos potenciales a partir de parámetros disponibles en información bibliográfica especializada, para cada tipo de fallas.

El árbol de fallas es un diagrama lógico que muestra las interrelaciones entre el evento no deseado en un sistema (efecto) y las razones para el evento (causas). Las razones pueden ser condiciones ambientales o eventos normales que se espera que ocurran en la vida del sistema y fallas de componentes específicos. Así, un árbol de fallas construido coherentemente muestra las diferentes combinaciones de fallas y otros eventos los cuales pueden guiar a un evento no deseado.

Para la determinación del valor de probabilidad en los sistemas que conforman la terminal, se recurrió a un árbol de falla, que contenga los elementos de mayor ponderación al riesgo, determinados en el análisis HAZOP.

Mediante la asignación de probabilidades de cada evento que pueda tener participación en el riesgo, la probabilidad de su ocurrencia puede ser calculada. Una vez procesados los datos se obtiene la probabilidad de ocurrencia de un evento final. Las probabilidades pueden ser clasificadas de varias formas, como se muestran en la **Tabla 11:**



Tabla 11. Valor de probabilidad de ocurrencia de fallas.

| Orden de magnitud | Cuantitativo | Expresión intuitiva: Duración fallo / Tiempo total | Calificación (Cualitativa) |
|-------------------|--------------|---|----------------------------|
| 10 ⁻¹ | 0.1 | 1 mes / año | Muy probable |
| 10 ⁻² | 0.01 | 4 días / años | Probable |
| 10 ⁻³ | 0.001 | 1 turno / año | Medianamente probable |
| 10 ⁻⁴ | 0.0001 | 2 turno / 5 años | Improbable |
| 10 ⁻⁵ | 0.00001 | 1 hora / 10 años | Remotamente probable |
| 10 ⁻⁶ | 0.000001 | 1 hora / 100 años | Muy improbable |

Fuente: Health and Safety Briefing No 26a Sept. 2004.
The Institution of Electrical Engineers.

Se realizó el árbol de falla para accidentes a causa del mantenimiento, corrosión, sobrepresión, entre otros y se obtuvo la información de las probabilidades de falla de los componentes involucrados en los posibles escenarios, y de esta manera, se pueden dar las asignaciones de probabilidad de ocurrencia a cada falla que participe en distintos eventos. En la **Figura 11** se plasma el árbol de falla en operación y mantenimiento.

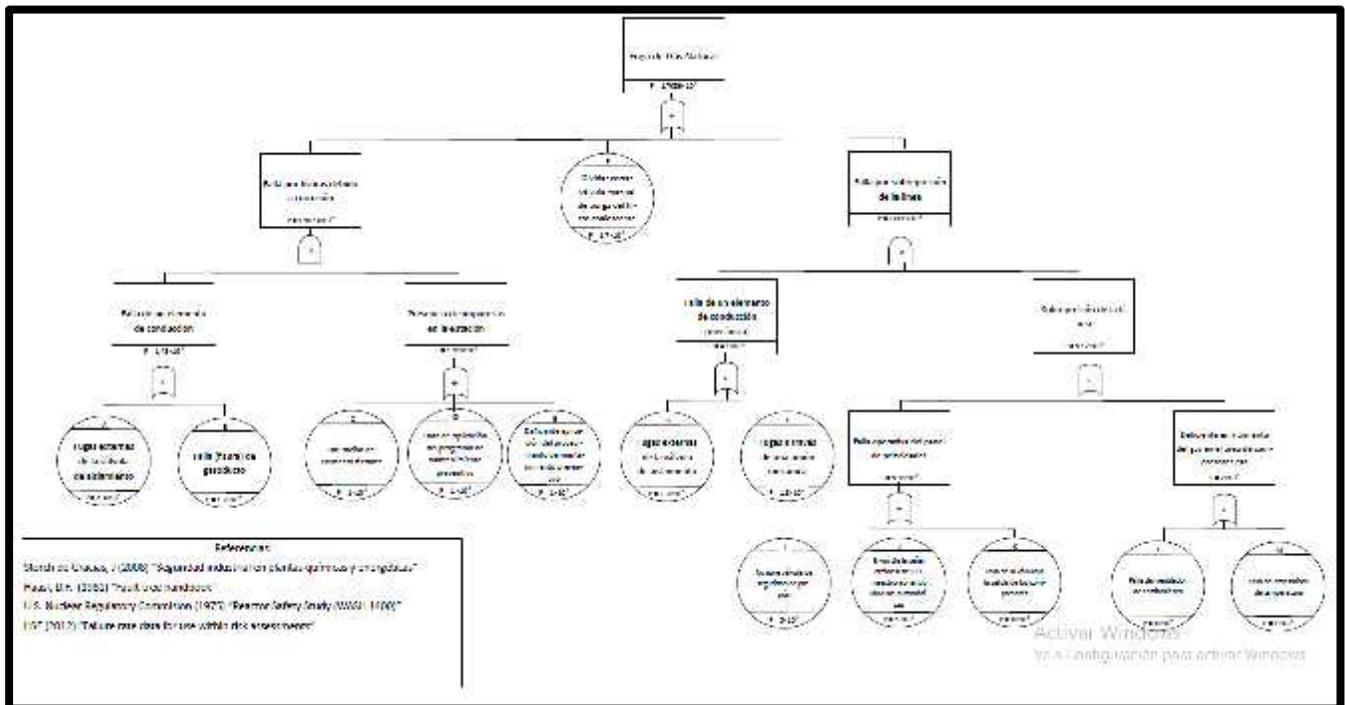
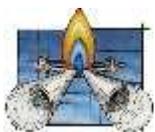


Figura 11. Árbol de falla en Operación y Mantenimiento.

Para mayor detalle, Ver Anexo 6. Árbol de Falla.

Tabla 12. Valor de Probabilidad de Frecuencia de Fallas.

| Nodo | Evento Básico | Probabilidad de falla |
|------|---|------------------------|
| A | Fugas externas de la válvula de aislamiento | 2.3x10 ⁻⁴ |
| B | Falla (fisura) de gasoducto | 1.2 x 10 ⁻³ |



| Nodo | Evento Básico | Probabilidad de falla |
|------|---|-----------------------|
| C | Saturación del elemento filtrante | 1.0×10^{-5} |
| D | Falta de aplicación del programa de mantenimiento preventivo | 1.0×10^{-3} |
| E | Deficiente aplicación del procedimiento de mantenimiento preventivo | 1.0×10^{-4} |
| F | Olvidar cerrar válvula manual de purga del filtro coalescente | 1.7×10^{-3} |
| G | Fugas externas de la válvula de aislamiento | 2.3×10^{-4} |
| H | Fugas a través de una unión mecánica | 1.8×10^{-4} |
| I | No abre válvula de seguridad de presión | 5.0×10^{-3} |
| J | Envío de la señal errónea del PLC maestro abriendo válvulas automáticas | 1.0×10^{-3} |
| K | Falla de la válvula a la salida de los compresores | 1.0×10^{-4} |
| L | Falla del ventilador de enfriamiento | 1.0×10^{-5} |
| M | Falla del transmisor de temperatura | 1.0×10^{-5} |

Storch de Gracias, J (2008) "Seguridad industrial en plantas químicas y energéticas"

Haasl, D.F. (1981) "Fault tree handbook"

U.S. Nuclear Regulatory Commission (1975) "Reactor Safety Study (WASH 1400)"

HSE (2012) "Failure rate data for use within risk assessments"

Arthur D. Little, Inc (1996) - Faulttree

N.H. Roberts, University of Washington

D.F. Institute of System Sciences, Inc.

De acuerdo a las probabilidades de falla resultantes en la tabla anterior de la metodología cuantitativa, junto a la metodología cualitativa, se propusieron los escenarios de riesgo para determinar los radios de afectación y realizar el análisis de consecuencias, lo anterior, en base al criterio de experto y experiencia del equipo evaluador. En dichos escenarios de riesgo, se establecen los casos más probables y los peores casos (Catastrófico) en los que se puede considerar un evento de incendio y/o explosión originados por distintas fallas.

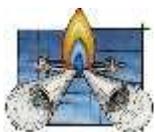
A continuación, se indican los escenarios de riesgo:

Tabla 13. Descripción de escenarios.

| No | Clave del escenario identificado | Descripción del escenario identificado | Identificación del nodo o sistema | Nombre de la instalación |
|----|----------------------------------|--|-----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | E1.1 | Fuga de Gas Natural (rotura equivalente al 100% diametral) en la válvula de aguja de 0.5" de diámetro, instalada en el bypass de la ERM a causa de la falla al cerrar de la propia válvula durante la realización de trabajos de mantenimiento, la cual entra en contacto inmediatamente con una fuente de ignición, causando un incendio (Jet Fire) en el área de acometida de la Estación, COORDENADAS DE UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP | 1 | Área de acometida de la Estación |
| 2 | E1.2 | Fuga de Gas Natural (rotura equivalente al 100% diametral) en la válvula de aguja de 0.5" de diámetro, instalada en el bypass de la ERM a causa de la falla al | 1 | Área de acometida de la |



| No | Clave del escenario identificado | Descripción del escenario identificado | Identificación del nodo o sistema | Nombre de la instalación |
|----|----------------------------------|--|-----------------------------------|--------------------------|
| | | cerrar de la propia válvula durante la realización de trabajos de mantenimiento, la cual entra en contacto con una fuente de ignición a los 60 segundos de formarse una nube explosiva, causando una explosión (sobrepresión) en el área de acometida de la Estación, en las coordenadas COORDENADAS DE UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP | | Estación |
| 3 | E2.1 | Fuga de Gas Natural (rotura equivalente al 100% diametral) en la válvula manual (HV 002) localizada a la salida de los compresores, debido al aumento de temperatura por falla en el sistema de enfriamiento, ocasionando una sobrepresión en la línea de conducción de GNC, la cual entra en contacto inmediatamente con una fuente de ignición, causando un incendio (Jet Fire) en el área de compresión, en las coordenadas geográficas COORDENADAS DE UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP | 2 | Área de compresión |
| 4 | E2.2 | Fuga de Gas Natural (rotura equivalente al 100% diametral) en la válvula manual (HV 002) localizada a la salida de los compresores, debido al aumento de temperatura por falla en el sistema de enfriamiento, ocasionando una sobrepresión en la línea de conducción de GNC, la cual entra en contacto con una fuente de ignición a los 60 segundos de la formación de la nube explosiva, causando una explosión (sobrepresión) en el área de compresión, en las coordenadas geográficas COORDENADAS DE UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP | 2 | Área de compresión |
| 5 | E2.3 | Fuga de Gas Natural (rotura equivalente al 20% diametral) en la válvula manual (HV 002) localizada a la salida de los compresores, debido al aumento de temperatura por falla en el sistema de enfriamiento, ocasionando una sobrepresión en la línea de conducción de GNC, la cual entra en contacto inmediatamente con una fuente de ignición, causando un incendio (Jet Fire) en el área de compresión, en las coordenadas geográficas COORDENADAS DE UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP | 2 | Área de compresión |
| 6 | E2.4 | Fuga de Gas Natural (rotura equivalente al 20% diametral) en la válvula manual (HV 002) localizada a la salida de los compresores, debido al aumento de temperatura por falla en el sistema de enfriamiento, ocasionando una sobrepresión en la línea de conducción de GNC, la cual entra en contacto con una fuente de ignición a los 60 segundos de formarse una nube explosiva, causando una explosión (sobrepresión) en el área de compresión, en las COORDENADAS DE UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP | 2 | Área de compresión |
| 7 | E3.1 | Fuga de Gas Natural (rotura equivalente al 100% diametral) en la interconexión de la tubería de 0.75" de diámetro con la válvula check (005) localizada en el poste de llenado (fill post) a causa de la sobrepresión originada en la línea, la cual entra en contacto inmediatamente con una fuente de ignición, causando un incendio (Jet Fire) en | 3 | Área de carga de GNC |



| No | Clave del escenario identificado | Descripción del escenario identificado | Identificación del nodo o sistema | Nombre de la instalación |
|----|----------------------------------|--|-----------------------------------|--------------------------|
| | | el área de carga de GNC, en las coordenadas geográficas COORDENADAS DE UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP | | |
| 8 | E3.2 | Fuga de Gas Natural (rotura equivalente al 100% diametral) en la interconexión de la tubería de 0.75" de diámetro con la válvula check (005) localizada en el poste de llenado (fill post) a causa de la sobrepresión originada en la línea, la cual entra en contacto con una fuente de ignición a los 60 segundos de formarse una nube explosiva, causando una explosión (sobrepresión) en el área de carga de GNC, en las COORDENADAS DE UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP | 3 | Área de carga de GNC |
| 9 | E 4.1 | Fuga de Gas Natural (rotura equivalente al 100% diametral) en las mangueras del manifold a causa de la rotura de las mismas debido al movimiento inesperado del camión durante la carga de GNC, la cual entra en contacto inmediatamente con una fuente de ignición, causando un incendio (Jet Fire) en el área de carga de GNC, en las COORDENADAS DE UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP | 4 | Área de carga de GNC |
| 10 | E4.2 | Fuga de Gas Natural (rotura equivalente al 100% diametral) en las mangueras del manifold a causa de la rotura de las mismas debido al movimiento inesperado del camión durante la carga de GNC, la cual entra en contacto con una fuente de ignición a los 60 segundos de formarse una nube explosiva, causando una explosión (sobrepresión) en el área de carga de GNC, en las COORDENADAS DE UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP | 4 | Área de carga de GNC |



INDICE

| | |
|--|----|
| II. DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE PROTECCIÓN ENTORNO A LAS INSTALACIONES. | 2 |
| II.1. Radios Potenciales de Afectación..... | 2 |
| II.1.1. Descripción de Escenarios..... | 6 |
| II.1.2. Representación de las Zonas de Alto Riesgo y Amortiguamiento. | 12 |
| II.2. Interacciones de Riesgo. | 22 |
| II.3. Efectos Sobre el Sistema Ambiental. | 38 |

TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Efectos de la radiación calórica incidente..... | 4 |
| Tabla 2. Estimado de daños por sobrepresión en explosiones..... | 5 |
| Tabla 3. Efectos sobre el Sistema Ambiental por la generación de un incendio..... | 38 |
| Tabla 4. Efectos sobre el Sistema Ambiental por la generación de una explosión. | 39 |

FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Escenario 1.1. Incendio (100%) de Gas Natural en la ERM de la Estación de Compresión Tijuana..... | 13 |
| Figura 2. Escenario 1.2. Sobrepresión (100%) de Gas Natural en la ERM de la Estación de Compresión Tijuana. | 14 |
| Figura 3. Escenario 2.1. Incendio (100%) de Gas Natural en el Área de Compresores de la Estación de Compresión Tijuana. | 15 |
| Figura 4. Escenario 2.2 Sobrepresión (100%) de Gas Natural en el Área de Compresores de la Estación de Compresión Tijuana. | 16 |
| Figura 5. Escenario 2.3. Incendio (20%) de Gas Natural en el Área de Compresores de la Estación de Compresión Tijuana. | 17 |
| Figura 6. Escenario 2.4. Sobrepresión (20%) de Gas Natural en el Área de Compresores de la Estación de Compresión Tijuana. | 18 |
| Figura 7. Escenario 3.1. Incendio (100%) de Gas Natural en el poste de llenado (fill post) de la Estación de Compresión Tijuana. | 19 |
| Figura 8. Escenario 3.2 Sobrepresión (100%) de Gas Natural en el poste de llenado (fill post) de la Estación de Compresión Tijuana. | 20 |
| Figura 9. Escenario 4.1. Incendio (100%) de Gas Natural en el Área de carga de GNC de la Estación de Compresión Tijuana. | 21 |
| Figura 10. Escenario 4.2 Sobrepresión (100%) de Gas Natural en el Área de carga de GNC de la Estación de Compresión Tijuana. | 22 |



II. DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE PROTECCIÓN ENTORNO A LAS INSTALACIONES.

II.1. Radios Potenciales de Afectación.

Justificación de los modelos matemáticos para la simulación.

Por la naturaleza de las actividades que realiza la empresa promotora del presente proyecto, se tienen riesgos potenciales en todas las secciones y componentes que constituyen la Estación de Compresión Tijuana. En todo el sistema existen una serie de uniones, accesorios y equipos que pueden llegar a fallar bajo determinadas circunstancias y dado que están sometidas a presión interna positiva, en caso de fallas la emisión del gas natural a la atmósfera es inmediata.

Una fuga procedente de las tuberías, equipos y accesorios, deriva en el traslado de una masa de gas a través de la atmósfera en forma de una nube limitada geoméricamente o de una pluma gaseosa, con un punto de escape y una masa extendida en la dirección del viento y con la distribución de distintas concentraciones en su interior.

Ambas formas de emisión, están sometidas a un grado creciente de dilución en el aire que hace que las concentraciones en la nube o en la pluma vayan disminuyendo conforme transcurre el tiempo y se alejan del punto de emisión. El grado de dilución depende de varios factores siendo los más relevantes la cantidad de material emitida, la densidad de la nube de gas, la estabilidad de la atmósfera y la altura del punto de emisión.

La evaluación de los riesgos a través de los escenarios más probables junto a la simulación de los eventos máximos definidos con el software SCRI fuego Versión 2.1, permite determinar las áreas potencialmente vulnerables, de tal manera que se generen recomendaciones para evitar la ocurrencia del evento o contar con la protección adecuada en caso de que este ocurra. Para las actividades de operación y mantenimiento del sistema para compresión de Gas Natural, se han identificado 5 Escenarios de riesgo potencial, los cuales involucran eventos por incendio que a su vez podrían desencadenar una explosión.

Modelación de Explosiones (Sobrepresión).

Para realizar las simulaciones de los efectos por sobrepresiones en los escenarios definidos para el presente estudio se utilizó el modelo SCRI Fuego (Modelos de Simulación para Análisis de Consecuencias por Fuego y Explosiones) en la Versión 2.1, el cual es un conjunto de herramientas, para simular en computadora fugas y derrames de sustancias, así como daños por nubes explosivas, para 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 y apoyar en la capacitación y entrenamiento de personal, en el manejo de situaciones de emergencia.

Si se inicia con la premisa que una explosión se caracteriza por la liberación repentina de energía que produce un área momentánea de alta presión en el medio ambiente, entonces la emisión de energía y la disipación de la energía hacia el medio ambiente debe ocurrir muy rápido a fin de que el evento sea clasificado como explosión.

El efecto de una explosión se debe a la disipación de la energía liberada y una gran parte de la energía liberada se transforma en un incremento de presión en la atmósfera (sobrepresión explosiva).



Modelación de Incendio.

Este modelo calcula y proporciona los radios de la zona en donde el fuego provoca quemaduras a personas sin protección, dichos radios están dados en dos escalas que determinan quemaduras letales para el radio que delimita los 9,5 kW/m² y quemaduras de segundo grado para el radio que marca los 5 kW/m² de radiación. El modelo trabaja con los siguientes parámetros del gas natural:

- Peso molecular.
- Gravedad específica.
- Temperatura.
- Área del incendio.

El modelo asume que la velocidad del viento es insuficiente, como para mantener un área circular de fuego y que las personas expuestas no están protegidas completamente contra los efectos de la radiación térmica por el uso de cualquier ropa.

Límites para definición de las áreas de riesgo y amortiguamiento.

Para poder definir los límites con los que se establecen los escenarios y las zonas de seguridad en el entorno de los mismos, se utilizan los criterios dados por la Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades riesgosas del Instituto Nacional de Ecología.

Cabe señalar que, para cada una de las simulaciones desarrolladas, se consideraron algunos datos en el programa de Simulación matemática (simulador de consecuencias), entre ellos se encuentran:

- a. Condiciones climáticas.
- b. Dimensiones del equipo o tubería.
- c. Propiedades de la sustancia.
- d. Diámetros de fuga o ruptura considerados.
- e. Tiempos de duración de la fuga.
- f. Condiciones de operación, entre otros.

Para definir y justificar las zonas de seguridad al entorno de la instalación, se utilizaron los parámetros que se indican a continuación:

| | Zona de Alto Riesgo | Zona de Amortiguamiento |
|---|---|---|
| Toxicidad (Concentración) | IDLH (ppm) | TLV _(8 h, TWA) o TLV _(15 min STEL) (ppm) |
| Inflamabilidad (Radiación Térmica) | 5.0 KW/m ² | 1.4 KW/m ² |
| Explosividad (Sobrepresión) | 1.0 lb/in ² (0.070 kg/cm ²) | 0.5 lb/in ² (0.035 kg/cm ²) |

Una evaluación del riesgo sólo queda completa si se conocen las consecuencias de un accidente por muy eventual que sea. Por este motivo, la última etapa de una evaluación de riesgo consiste en analizar las consecuencias de un accidente potencial importante en la Estación de Compresión Tijuana y su efecto en las inmediaciones de la instalación y en el medio ambiente.

El análisis de consecuencias busca determinar la magnitud de los efectos de un incidente peligroso, esto es, un acontecimiento que por lo general ocurre sin advertencia, durante un periodo corto y con efectos potencialmente serios en personas y propiedades.



En la práctica, el análisis de consecuencias atiende los siguientes factores:

- Término de la fuente.
- Dispersión.
- Efecto.

Factores de mitigación.

Término de la fuente. Es la evaluación de las características de la liberación peligrosa inicial, y es la base sobre la cual se construye el resto de la secuencia del análisis.

Dispersión. Los modelos de dispersión se aplican a escenarios de liberaciones al aire y se clasifican en términos de la diferencia en densidad entre el material liberado y la atmósfera.

Fuego y explosión. Se hace énfasis en peligros provenientes de liberaciones que causan radiación térmica e impactos de presión para poder estimar los efectos de éstos en personas y materiales.

Factores de mitigación. Estos modelos analizan datos para sistemas de aislamiento, barreras, procedimientos de evacuación y acciones evasivas durante accidentes.

Los efectos de los incendios sobre las personas son quemaduras de piel por exposición a las radiaciones térmicas. La gravedad de las quemaduras depende de la intensidad del calor y del tiempo de exposición.

La radiación térmica es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de la fuente. En general, la piel resiste una energía térmica de 10 kW/m² durante aproximadamente 5 segundos y de 30 kW/m² durante sólo 0,4 segundos antes de que sienta dolor.

Para evaluar los efectos en un incendio, se tomarán como base los datos indicados en la siguiente tabla:

Tabla 1. Efectos de la radiación calórica incidente.

| (KW/m ²) | Daños a equipos / materiales | Daños a personas |
|----------------------|---|--|
| 400 | Máxima radiación tolerable por una pared de ladrillos. | |
| 200 | Debilitamiento del hormigón armado. | |
| 60 | Máxima radiación tolerable por el cemento. | |
| 40 | Máximo tolerable por el acero estructural y el hormigón prensado. Destrucción de equipos y tanques. | |
| 37.5 | Suficiente para causar daños a equipos de proceso; colapso de estructuras. | 100% de mortalidad en 1 minuto. |
| 25 | El acero delgado, aislado, puede perder su integridad mecánica. Energía mínima para encender madera, por la larga exposición, sin llama. | 1% de mortalidad en 1 minuto. Lesiones significativas en 10 segundos. |
| 12.5 | Energía mínima para encender madera después de una larga exposición, con llama ignición de tubos y recubrimientos de plástico en cables eléctricos. Daños severos a equipos de instrumentación. | ZONA DE INTERVENCIÓN: máximo soportable protegido con trajes especiales, por tiempo limitado (ejemplo bomberos). Es mas que conveniente, de todos modos, refrigerar a la persona expuesta a esta dosis. Sin trajes especiales, 1% de mortalidad en 1 minuto, quemaduras de 1er grado en 10 segundos. |
| 11.7 | El acero delgado, parcialmente aislado, puede | |



| | | |
|------|--|---|
| | perder su integridad mecánica. | |
| 9.5 | Umbral de dolor alcanzado después de 8 segundos, quemaduras de segundo grado después de 20 segundos. | |
| 8 | | Umbral de letalidad (1% de afectación) por incendio, para un tiempo de exposición de 1 minuto. Asfixia por la disminución de Oxígeno y la exposición a los humos generados por el incendio. |
| 4 | | ZONA DE ALERTA: suficiente para causar dolor si la exposición es mayor a 20 segundos. Quemadura de 1er grado. Improbable formación de ampollas. |
| 1.5 | | Máximo soportable por personas con vestimentas normales y un tiempo prolongado. |
| 1.39 | | No causará incomodidad en exposiciones prolongadas. |

Manual Techniques for Assessing Industrial Hazards, Wold Bank.

Buettner, K., “Efectos del frío y calor extremos sobre la piel humana, II. Temperatura superficial, dolor y conductividad de calor en experimentos con calor radiante”, Fis. Ap. Vol. 3. P. 703, 1951.

Metha, A.K., et al., “Medición de la inflamabilidad y potencial de combustión de tejidos”, Reporte sumario a la Fundación Nacional de la Ciencia bajo concesión #GI-31881, Laboratorio de investigación de combustibles, MIT, Cambridge, Mass., 1973

Los efectos producidos por una explosión, se generan a través de una serie de ondas expansivas, de tal forma que las ondas de mayor presión están situadas formando una circunferencia cercana al centro de la nube y las de menor presión se sitúan en circunferencias de diámetros mayores. La tabla siguiente muestra la relación entre la sobrepresión y el tipo de daño asociado.

Tabla 2. Estimado de daños por sobrepresión en explosiones.

| Sobrepresión (psig) | Daño esperado |
|----------------------------|--|
| 0.03 | Ruptura ocasional de ventanas de vidrio grandes que ya se encuentren bajo tensión. |
| 0.04 | Ruido elevado (143 dB); fallas en vidrio debido al “boom” sónico. |
| 0.10 | Ruptura de ventanas pequeñas bajo tensión. |
| 0.15 | Presión típica para fallas en vidrio. |
| 0.30 | Cierto daño en techos de casas, 10% de rupturas en vidrios de ventana. |
| 0.40 | Daño estructural menor limitado. |
| 0.50 - 1.0 | Normalmente ventanas despedazadas, algo de daño en los marcos de las mismas. |
| 0.7 | Daño menor a estructuras de casas. |
| 1.0 | Demolición parcial de casas, estas se vuelven inhabitables. |
| 1.0 – 2.0 | Paneles de metal corrugado que fallan y se doblan. Implosión de paneles de madera para construcción. |
| 1.0 – 8.0 | Rango de lesiones de leves a serias debido a laceraciones de la piel por pedazos volantes de vidrio y otros misiles. |
| 1.3 | Ligera distorsión en marco de metal de edificios recubiertos. |



| Sobrepresión (psig) | Daño esperado |
|---------------------|---|
| 2.0 | Colapso parcial de muros y techos de casas. |
| 2.0 – 3.0 | Dstrucción de muros de concreto no reforzado o de block prequemado. |
| 2.3 | Límite inferior de daño estructural serio. |
| 2.4 - 12.2 | Rango de 1 a 90% de rotura de tímpanos entre las personas expuestas. |
| 2.5 | Dstrucción del 50% del enladrillado casero. |
| 3.0 | Edificios con estructura de acero distorsionados y arrancados en sus cimientos. |
| 3.0 – 4.0 | Edificios de panel de acero sin estructura arruinados. |
| 4.0 | Ruptura en recubrimiento de edificios industriales ligeros. |
| 5.0 | Postes de madera arrancados. |
| 5.0 – 7.0 | Dstrucción casi completa de casas. |
| 7.0 | Volcadura de carros de ferrocarril con carga. |
| 7.0 – 8.0 | Falla en muros de ladrillo de 8 a 12" de espesor sin refuerzo debido a la flexión o desgarre. |
| 9.0 | Demolición de contenedores de ferrocarril con carga. |
| 10.0 | Posible destrucción total de edificios. |
| 14.5 - 29.0 | Rango de 1 a 99% de fatalidades entre las personas expuestas debido a los efectos directos del estallido. |
| 300 | Formación de cráter. |

Baker, W.E; Explosion Hazards and Evaluation

Lees, F.P.; Prevención de Pérdidas en Industrias de Procesos, Vol. 1, Butterworths, London & Boston, 1980

II.1.1. Descripción de Escenarios.

A continuación, se presenta un resumen de la memoria de cálculo donde se determinan los criterios técnicos considerados para determinar cada uno de los datos alimentados al simulador, los tiempos de duración de la descarga y los diámetros del orificio considerados.

Derivado de las simulaciones se describen los resultados para cada escenario de riesgo simulado, así como los datos para los radios de la zona de alto riesgo y la zona de amortiguamiento obtenidos en cada uno de ellos. **(Para mayor detalle, Ver anexo 7. Resultados de Simulaciones).**

| Escenario No. 1.1 | | | |
|----------------------------|---|-------------------------------------|------------|
| Descripción: | Fuga de Gas Natural (rotura equivalente al 100% diametral) en la válvula de aguja de 0.5" de diámetro, instalada en el bypass de la ERM a causa de la falla al cerrar de la propia válvula durante la realización de trabajos de mantenimiento, la cual entra en contacto | | |
| | COORDENADAS DE UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP | | |
| Consideraciones operativas | | Condiciones ambientales (promedio): | |
| Ubicación: | En el área de acometida de la Estación. | Temperatura ambiente: | 22.2 °C |
| Temperatura de | 20 °C | Velocidad del viento: | 5.74 Km/hr |



| | | | |
|---------------------------------------|-----------------|--|-------------------------------|
| operación: | (293.15 °K) | | |
| Presión en el punto de fuga: | 2100 kPa | | Precipitación: 244 mm (anual) |
| Diámetro considerado para simulación: | 0.5" (0.0127 m) | | Humedad relativa: 81% |

Consideraciones para simulaciones:

- Para el presente Escenario se considera la simulación de un Jet Fire.
- La tasa de emisión de masa es de: 0.29 kg/s (calculado por el software SCRI).
- La presión del gas almacenado en el punto de fuga es de 21 Bar.
- La Altura de la base de la flama es de 1 m.

RESULTADOS

JET FIRE

| | |
|---|---------|
| Zona de Alto Riesgo (5 kW/m ²): | 5.80 m |
| Zona de Amortiguamiento (1.4 kW/m ²): | 11.27 m |

Escenario No. 1.2

| | |
|--------------|---|
| Descripción: | Fuga de Gas Natural (rotura equivalente al 100% diametral) en la válvula de aguja de 0.5" de diámetro, instalada en el bypass de la ERM a causa de la falla al cerrar de la propia válvula durante la realización de trabajos de mantenimiento, la cual entra en contacto con una fuente de ignición a los 60 segundos de formarse una nube explosiva, causando una |
|--------------|---|

COORDENADAS DE UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP

| Consideraciones operativas | | Condiciones ambientales (promedio): | |
|---------------------------------------|---|-------------------------------------|----------------|
| Ubicación: | En el área de acometida de la Estación. | Temperatura ambiente: | 22.2 °C |
| Temperatura de operación: | 20 °C (293.15 °K) | Velocidad del viento: | 5.74 Km/hr |
| Presión en el punto de fuga: | 2100 kPa | Precipitación: | 244 mm (anual) |
| Diámetro considerado para simulación: | 0.5" (0.0127 m) | Humedad relativa: | 81% |

Consideraciones para simulaciones:

- Para el presente Escenario solo se considera la determinación de la concentración de la nube de gas natural y la explosión de la misma.
- La nube explosiva que entra en contacto con una fuente de ignición a los 60 segundos de haberse formado, tiene una masa de: 17.40 kg (ver cálculo debajo). Lo anterior considerando que es el tiempo en que los sistemas de detección de mezclas explosivas entran en operación.
- La presión del gas almacenado en el punto de fuga es de 21 bar.

RESULTADOS

Nube Explosiva

| | |
|-----------------------------------|---------|
| Zona de Alto Riesgo (1 psi) | 32.03 m |
| Zona de Amortiguamiento (0.5 psi) | 54.44 m |

Cálculo de la masa de la nube explosiva en los 60 segundos:

$$m = \dot{m}t \rightarrow m = \left(0.29 \frac{k}{s}\right)(60 s) = 17.40 k$$

Escenario No. 2.1

| | |
|--------------|--|
| Descripción: | Fuga de Gas Natural (rotura equivalente al 100% diametral) en la válvula manual (HV 002) localizada a la salida de los compresores, debido al aumento de temperatura por falla en el sistema de enfriamiento, ocasionando una sobrepresión en la línea de conducción de GNC, la cual entra en contacto inmediatamente con una fuente de ignición, causando un incendio |
|--------------|--|



COORDENADAS DE UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP

| Consideraciones operativas | | Condiciones ambientales (promedio): | |
|---------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|----------------|
| Ubicación: | En el área de compresión | Temperatura ambiente: | 22.2 °C |
| Temperatura de operación: | 38 °C (311.15 °K) | Velocidad del viento: | 5.74 Km/hr |
| Presión en el punto de fuga: | 260 bar (26000 kPa) | Precipitación: | 244 mm (anual) |
| Diámetro considerado para simulación: | 0.75" (0.01905 m) | Humedad relativa: | 81% |

Consideraciones para simulaciones:

- Para el presente Escenario se considera la simulación de un Jet Fire.
- La tasa de emisión de masa es de: 7.76 kg/s (calculado por el software SCRI).
- La presión del gas almacenado en el punto de fuga es de 260 bar (26000 kPa).
- La Altura de la base de la flama es de 1 m.

RESULTADOS

JET FIRE

| | |
|---|---------|
| Zona de Alto Riesgo (5 kW/m ²): | 30.18 m |
| Zona de Amortiguamiento (1.4 kW/m ²): | 55.68 m |

Escenario No. 2.2

Descripción: Fuga de Gas Natural (rotura equivalente al 100% diametral) en la válvula manual (HV 002) localizada a la salida de los compresores, debido al aumento de temperatura por falla en el sistema de enfriamiento, ocasionando una sobrepresión en la línea de conducción de GNC, la cual entra en contacto con una fuente de ignición a los 60 segundos de la formación de la nube explosiva, causando una explosión (sobrepresión) en el área de compresión en las

COORDENADAS DE UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP

| Consideraciones operativas | | Condiciones ambientales (promedio): | |
|---------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|----------------|
| Ubicación: | En el área de compresión | Temperatura ambiente: | 22.2 °C |
| Temperatura de operación: | 38 °C (311.15 °K) | Velocidad del viento: | 5.74 Km/hr |
| Presión en el punto de fuga: | 260 bar (26000 kPa) | Precipitación: | 244 mm (anual) |
| Diámetro considerado para simulación: | 0.75" (0.01905 m) | Humedad relativa: | 81% |

Consideraciones para simulaciones:

- Para el presente Escenario solo se considera la determinación de la concentración de la nube de gas natural y la explosión de la misma.
- La nube explosiva que entra en contacto con una fuente de ignición a los 60 segundos de haberse formado, tiene una masa de: 465.60 kg (ver cálculo debajo). Lo anterior considerando que es el tiempo en que los sistemas de detección de mezclas explosivas entran en operación.
- La presión del gas almacenado en el punto de fuga es de 260 bar (26000 kPa).

RESULTADOS

Nube Explosiva

| | |
|-----------------------------------|----------|
| Zona de Alto Riesgo (1 psi) | 95.79m |
| Zona de Amortiguamiento (0.5 psi) | 162.84 m |

Cálculo de la masa de la nube explosiva en los 60 segundos:

$$m = \dot{m}t \rightarrow m = \left(7.76 \frac{k}{s}\right) (60 s) = 465.60 k$$



| Escenario No. 2.3 | | | |
|---|---|--|----------------|
| Descripción: | Fuga de Gas Natural (rotura equivalente al 20% diametral) en la válvula manual (HV 002) localizada a la salida de los compresores, debido al aumento de temperatura por falla en el sistema de enfriamiento, ocasionando una sobrepresión en la línea de conducción de GNC, la cual entra en contacto inmediatamente con una fuente de ignición, causando un incendio | | |
| | COORDENADAS DE UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP | | |
| Consideraciones operativas | | Condiciones ambientales (promedio): | |
| Ubicación: | En el área de compresión | Temperatura ambiente: | 22.2 °C |
| Temperatura de operación: | 38 °C (311.15 °K) | Velocidad del viento: | 5.74 Km/hr |
| Presión en el punto de fuga: | 260 bar (26000 kPa) | Precipitación: | 244 mm (anual) |
| Diámetro considerado para simulación: | 0.15" (0.00381 m) | Humedad relativa: | 81% |
| Consideraciones para simulaciones: | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> Para el presente Escenario se considera la simulación de un Jet Fire. La tasa de emisión de masa es de: 0.31 kg/s (calculado por el software SCRI). La presión del gas almacenado en el punto de fuga es de 260 bar (26000 kPa). La Altura de la base de la flama es de 1 m. | | | |
| RESULTADOS | | | |
| JET FIRE | | | |
| Zona de Alto Riesgo (5 kW/m²): | | 6.35 m | |
| Zona de Amortiguamiento (1.4 kW/m²): | | 11.87 m | |

| Escenario No. 2.4 | | | |
|---|--|--|----------------|
| Descripción: | Fuga de Gas Natural (rotura equivalente al 20% diametral) en la válvula manual (HV 002) localizada a la salida de los compresores, debido al aumento de temperatura por falla en el sistema de enfriamiento, ocasionando una sobrepresión en la línea de conducción de GNC, la cual entra en contacto con una fuente de ignición a los 60 segundos de formarse una | | |
| | COORDENADAS DE UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP | | |
| Consideraciones operativas | | Condiciones ambientales (promedio): | |
| Ubicación: | En el área de compresión | Temperatura ambiente: | 22.2 °C |
| Temperatura de operación: | 38 °C (311.15 °K) | Velocidad del viento: | 5.74 Km/hr |
| Presión en el punto de fuga: | 260 bar (26000 kPa) | Precipitación: | 244 mm (anual) |
| Diámetro considerado para simulación: | 0.15" (0.00381 m) | Humedad relativa: | 81% |
| Consideraciones para simulaciones: | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> Para el presente Escenario solo se considera la determinación de la concentración de la nube de gas natural y la explosión de la misma. La nube explosiva que entra en contacto con una fuente de ignición a los 60 segundos de haberse formado, tiene una masa de: 18.60 kg (ver cálculo debajo). Lo anterior considerando que es el tiempo en que los sistemas de detección de mezclas explosivas entran en operación. La presión del gas almacenado en el punto de fuga es de 260 bar (25000 kPa). | | | |
| RESULTADOS | | | |
| Nube Explosiva | | | |
| Zona de Alto Riesgo (1 psi) | | 32.75 m | |
| Zona de Amortiguamiento (0.5 psi) | | 55.66 m | |



Cálculo de la masa de la nube explosiva en los 60 segundos:

$$m = \dot{m}t \rightarrow m = \left(0.31 \frac{k}{s}\right) (60 s) = 18.60 k$$

| Escenario No. 3.1 | | | |
|---|---|-------------------------------------|----------------|
| Descripción: | Fuga de Gas Natural (equivalente al 100% diametral) en la interconexión de la tubería de 0.75" de diámetro con la válvula check (005) localizada en el poste de llenado (fill post) a causa de la sobrepresión originada en la línea, la cual entra en contacto inmediatamente con una fuente de ignición, causando un incendio (Jet Fire) en el área de carga de GNC, en | | |
| | COORDENADAS DE UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP | | |
| Consideraciones operativas | | Condiciones ambientales (promedio): | |
| Ubicación: | En el área del fill post | Temperatura ambiente: | 22.2 °C |
| Temperatura de operación: | 38 °C (311.15 °K) | Velocidad del viento: | 5.74 Km/hr |
| Presión en el punto de fuga: | 260 bar (26000 kPa) | Precipitación: | 244 mm (anual) |
| Diámetro considerado para simulación: | 0.75" (0.01905 m) | Humedad relativa: | 81% |
| Consideraciones para simulaciones: | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> Para el presente Escenario se considera la simulación de un Jet Fire. La tasa de emisión de masa es de: 7.76 kg/s (calculado por el software SCRI). La presión del gas almacenado en el punto de fuga es de 260 bar (25000 kPa). La Altura de la base de la flama es de 1 m. | | | |
| RESULTADOS | | | |
| JET FIRE | | | |
| Zona de Alto Riesgo (5 kW/m²): | | 30.18 m | |
| Zona de Amortiguamiento (1.4 kW/m²): | | 55.68 m | |

| Escenario No. 3.2 | | | |
|--|--|-------------------------------------|----------------|
| Descripción: | Fuga de Gas Natural (rotura equivalente al 100% diametral) en la interconexión de la tubería de 0.75" de diámetro con la válvula check (005) localizada en el poste de llenado (fill post) a causa de la sobrepresión originada en la línea, la cual entra en contacto con una fuente de ignición a los 60 segundos de formarse una nube explosiva, causando una | | |
| | COORDENADAS DE UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP | | |
| Consideraciones operativas | | Condiciones ambientales (promedio): | |
| Ubicación: | En el área del fill post | Temperatura ambiente: | 22.2 °C |
| Temperatura de operación: | 38 °C (311.15 °K) | Velocidad del viento: | 5.74 Km/hr |
| Presión en el punto de fuga: | 260 bar (26000 kPa) | Precipitación: | 244 mm (anual) |
| Diámetro considerado para simulación: | 0.75" (0.01905 m) | Humedad relativa: | 81% |
| Consideraciones para simulaciones: | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> Para el presente Escenario solo se considera la determinación de la concentración de la nube de gas natural y la explosión de la misma. La nube explosiva que entra en contacto con una fuente de ignición a los 60 segundos de haberse formado, tiene una masa de: 447.60 kg (ver cálculo debajo). Lo anterior considerando que es el tiempo | | | |



en que los sistemas de detección de mezclas explosivas entran en operación.

- La presión del gas almacenado en el punto de fuga es de 250 bar (25000 kPa).

RESULTADOS

Nube Explosiva

| | |
|--|----------|
| Zona de Alto Riesgo (1 psi) | 95.79m |
| Zona de Amortiguamiento (0.5 psi) | 162.84 m |

Cálculo de la masa de la nube explosiva en los 60 segundos:

$$m = \dot{m}t \rightarrow m = \left(7.76 \frac{k}{s}\right) (60 s) = 465.60 k$$

Escenario No. 4.1

Descripción: Fuga de Gas Natural (rotura equivalente al 100% diametral) en las mangueras del manifold a causa de la rotura de las mismas debido al movimiento inesperado del camión durante la carga de GNC, la cual entra en contacto inmediatamente con una fuente de ignición,

COORDENADAS DE UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP

| Consideraciones operativas | | Condiciones ambientales (promedio): | |
|--|----------------------------|-------------------------------------|----------------|
| Ubicación: | En el área de carga de GNC | Temperatura ambiente: | 22.2 °C |
| Temperatura de operación: | 38 °C (311.15 °K) | Velocidad del viento: | 5.74 Km/hr |
| Presión en el punto de fuga: | 260 bar (25000 kPa) | Precipitación: | 244 mm (anual) |
| Diámetro considerado para simulación: | 1" (0.0254 m) | Humedad relativa: | 81% |

Consideraciones para simulaciones:

- Para el presente Escenario se considera la simulación de un Jet Fire.
- La tasa de emisión de masa es de: 13.79 kg/s (calculado por el software SCRI).
- La presión del gas almacenado en el punto de fuga es de 260 bar.
- La Altura de la base de la flama es de 1 m.

RESULTADOS

JET FIRE

| | |
|--|---------|
| Zona de Alto Riesgo (5 kW/m²): | 39.77 m |
| Zona de Amortiguamiento (1.4 kW/m²): | 73.35 m |

Escenario No. 4.2

Descripción: Fuga de Gas Natural (rotura equivalente al 100% diametral) en las mangueras del manifold a causa de la rotura de las mismas debido al movimiento inesperado del camión durante la carga de GNC, la cual entra en contacto con una fuente de ignición a los 60 segundos de formarse una nube explosiva, causando una explosión (sobrepresión) en el área de carga

COORDENADAS DE UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP

| Consideraciones operativas | | Condiciones ambientales (promedio): | |
|--|----------------------------|-------------------------------------|----------------|
| Ubicación: | En el área de carga de GNC | Temperatura ambiente: | 22.2 °C |
| Temperatura de operación: | 38 °C (311.15 °K) | Velocidad del viento: | 5.74 Km/hr |
| Presión en el punto de fuga: | 260 bar (25000 kPa) | Precipitación: | 244 mm (anual) |
| Diámetro considerado para simulación: | 1" (0.0254 m) | Humedad relativa: | 81% |



Consideraciones para simulaciones:

- Para el presente Escenario solo se considera la determinación de la concentración de la nube de gas natural y la explosión de la misma.
- La nube explosiva que entra en contacto con una fuente de ignición a los 60 segundos de haberse formado, tiene una masa de: 827.40 kg (ver cálculo debajo). Lo anterior considerando que es el tiempo en que los sistemas de detección de mezclas explosivas entran en operación.
- La presión del gas almacenado en el punto de fuga es de 260 bar.

| RESULTADOS | |
|--|----------|
| Nube Explosiva | |
| Zona de Alto Riesgo (1 psi) | 116.03 m |
| Zona de Amortiguamiento (0.5 psi) | 197.23 m |

Cálculo de la masa de la nube explosiva en los 60 segundos:

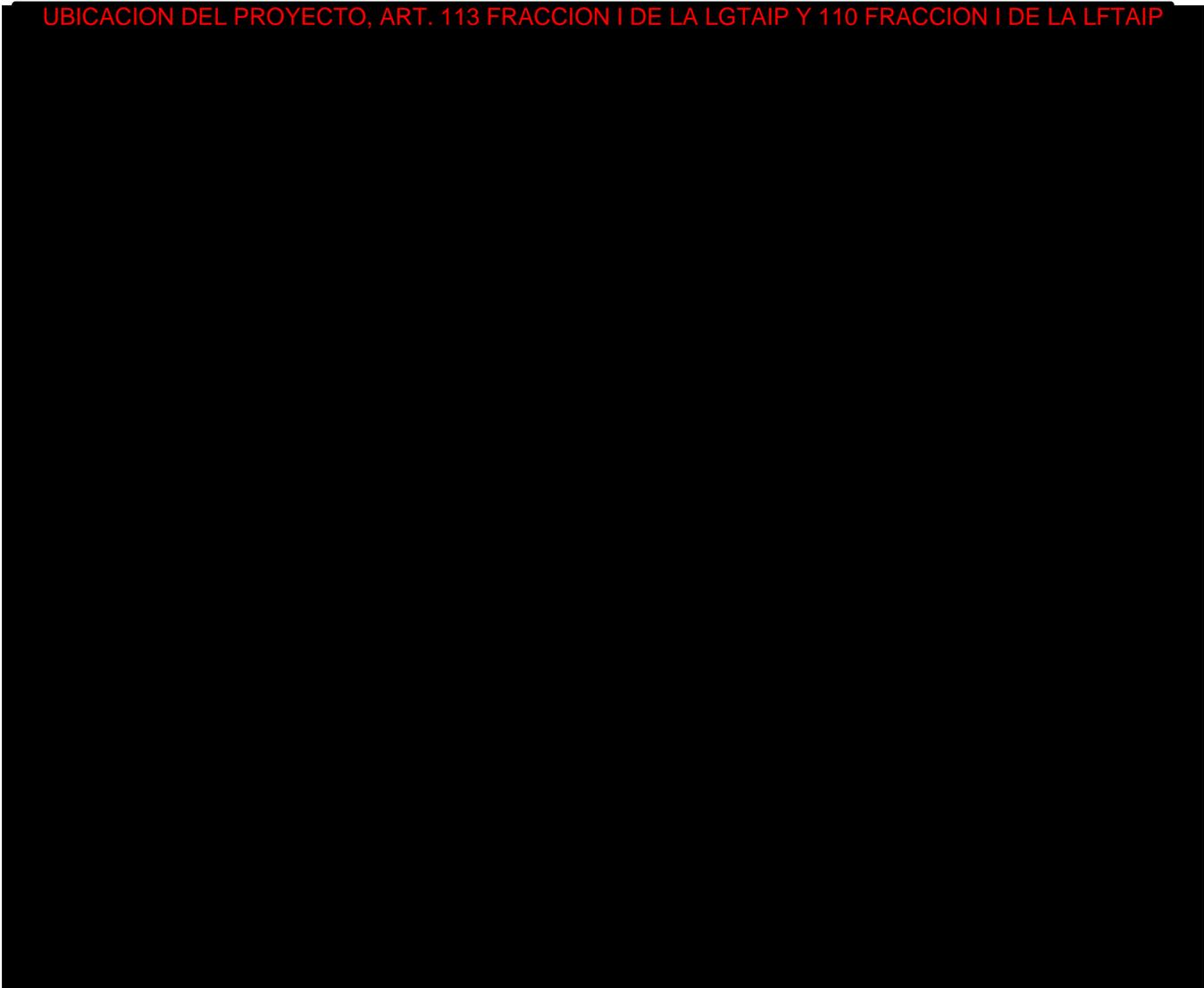
$$m = \dot{m}t \rightarrow m = \left(13.79 \frac{k}{s}\right) (60 s) = 827.40 k$$

II.1.2. Representación de las Zonas de Alto Riesgo y Amortiguamiento.

En las imágenes siguientes pueden observarse que las Zonas de Alto Riesgo (ZAR) están representadas con el color verde y las Zonas de Amortiguamiento (ZA) con el color azul, además se incluyen las distancias de afectación para cada uno de estos radios y la Zona de Alto Riesgo por daño a equipos (OTRO), que en el caso de radiación va de 12.5 KW/m² a 37.5 KW/m², y para el caso de sobrepresión que va de 3 lb/in² a 10 lb/in², de igual manera se muestran las distancias de afectación en cada uno de los escenarios. (Para mayor detalle, **Ver Anexo 8. Radios de Afectación**).

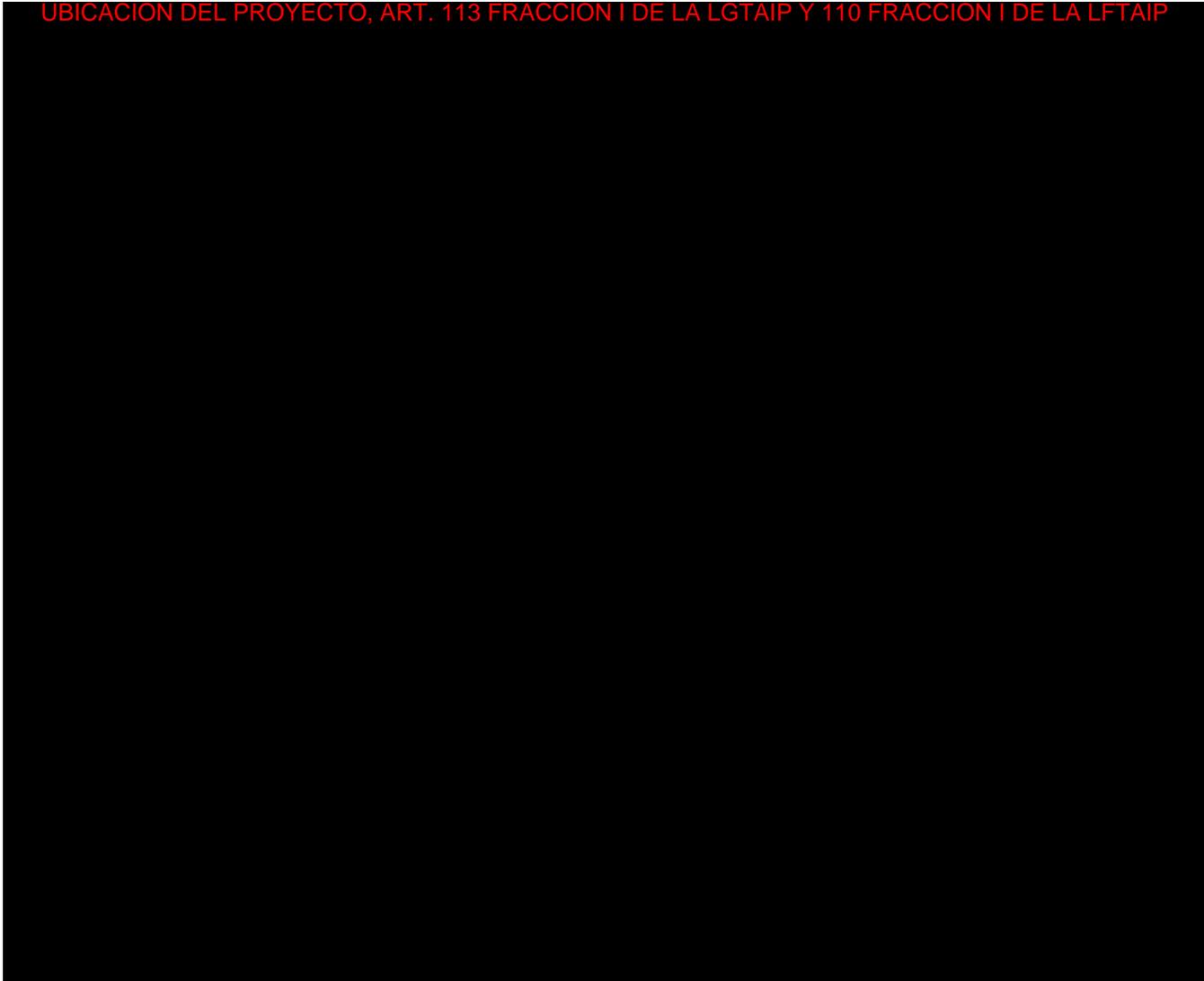


UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP



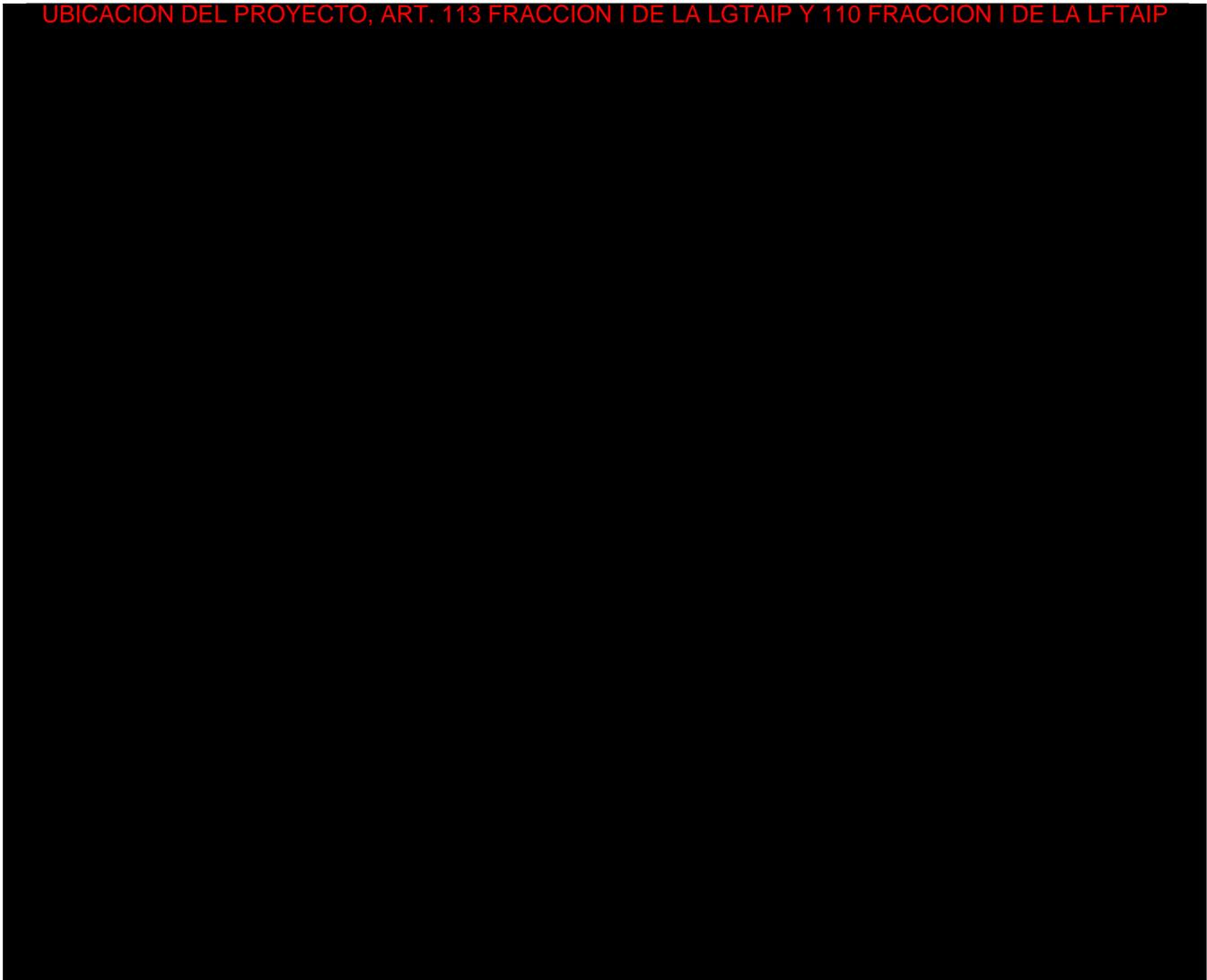


UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP



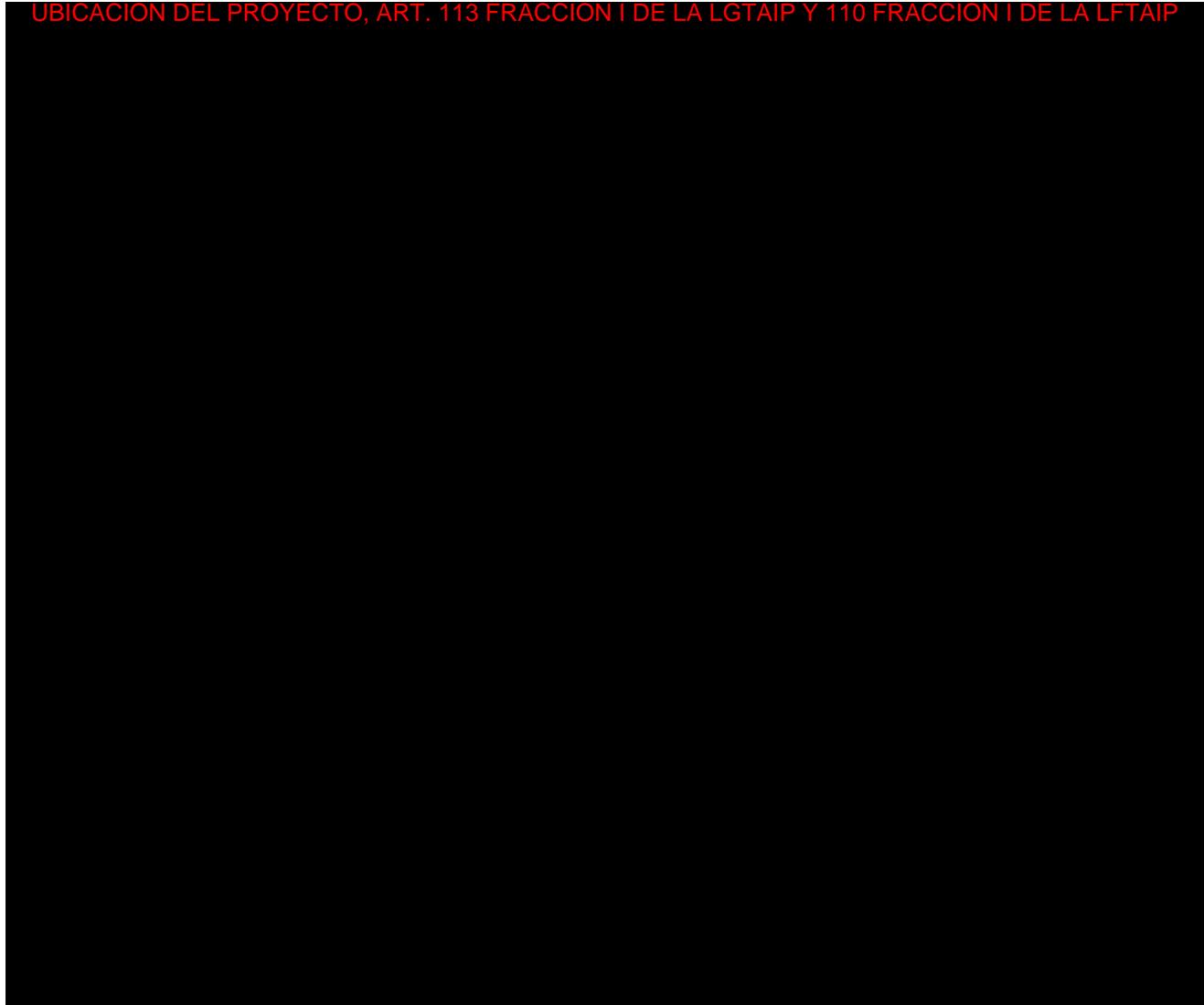


UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP



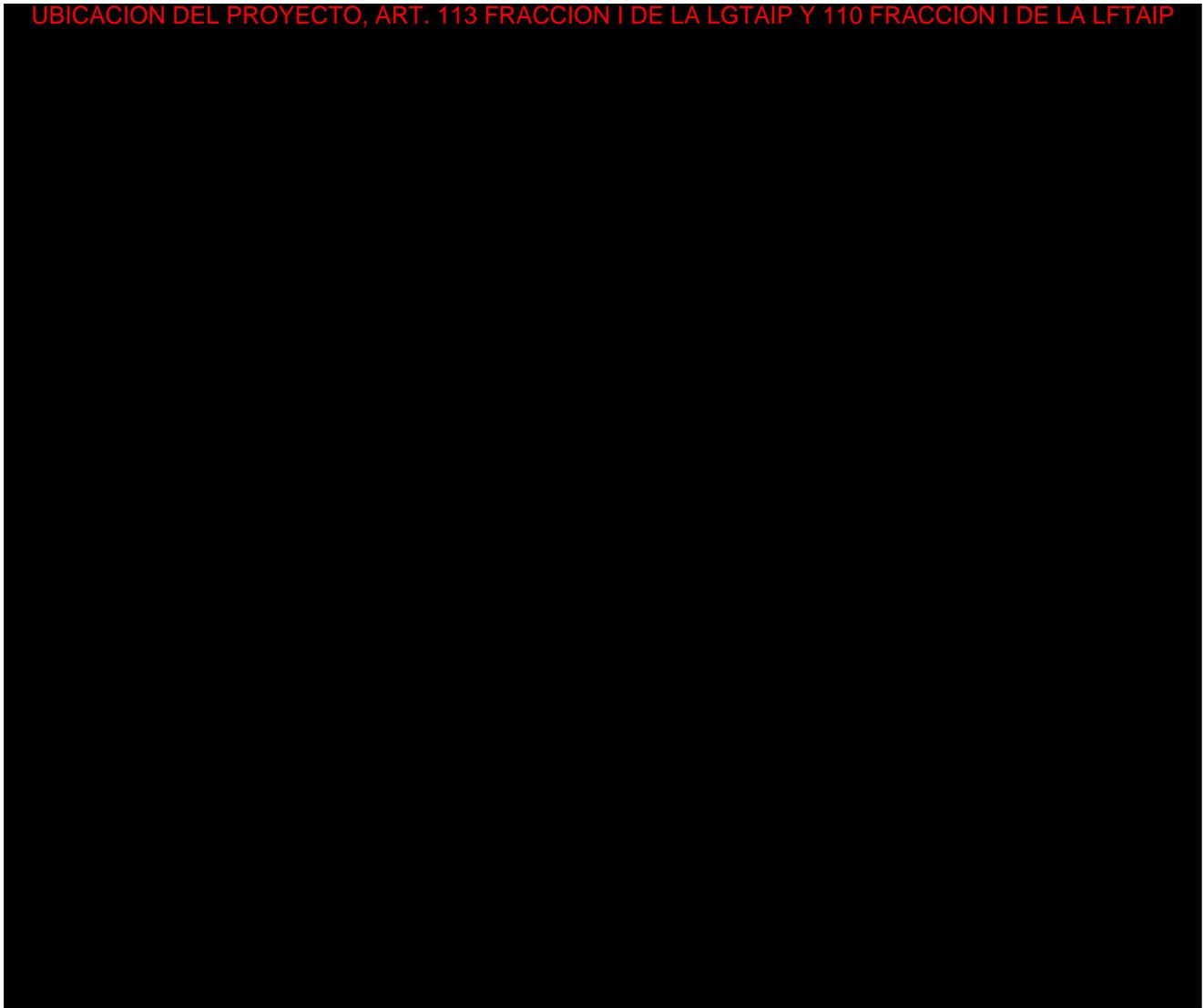


UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP



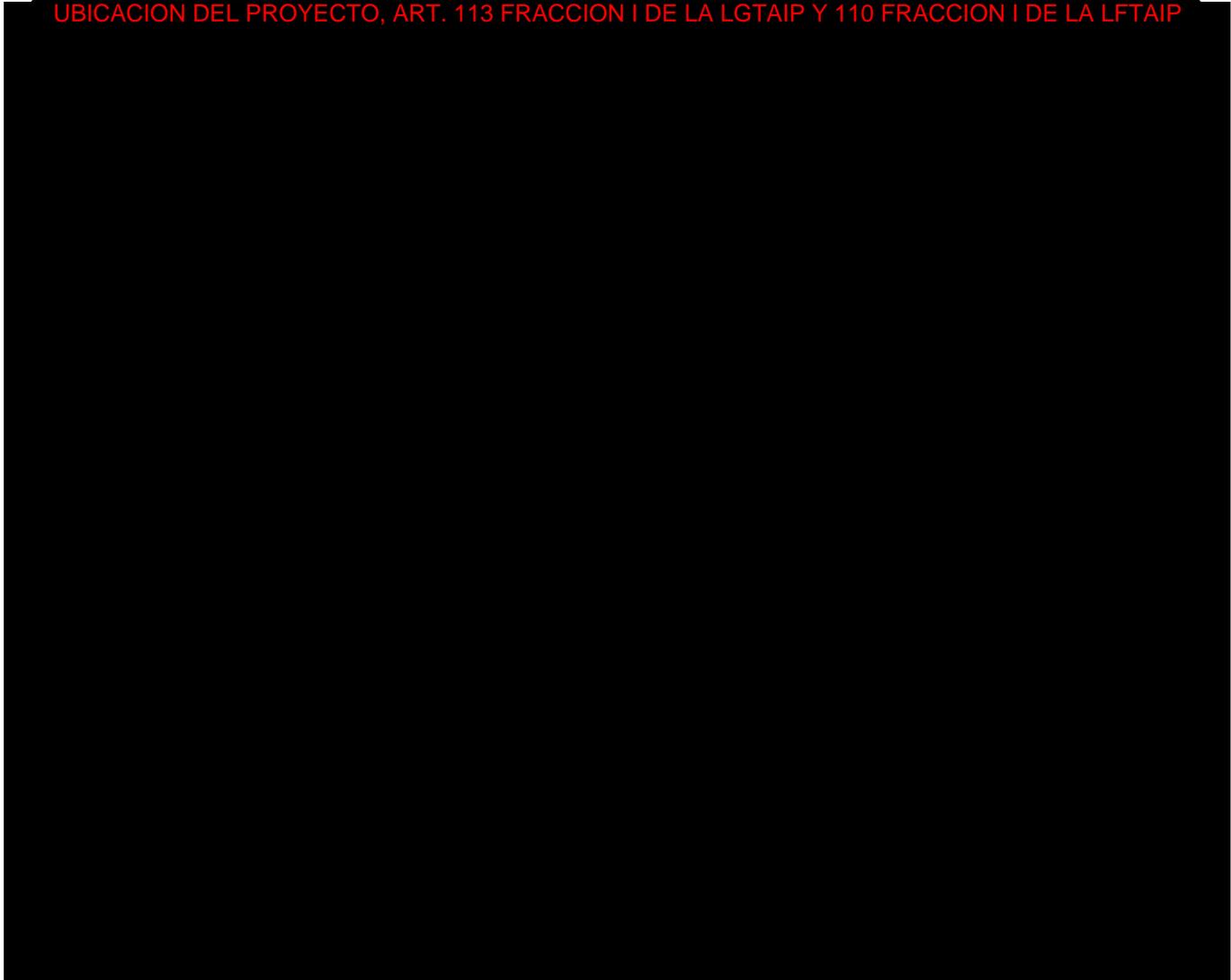


UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP



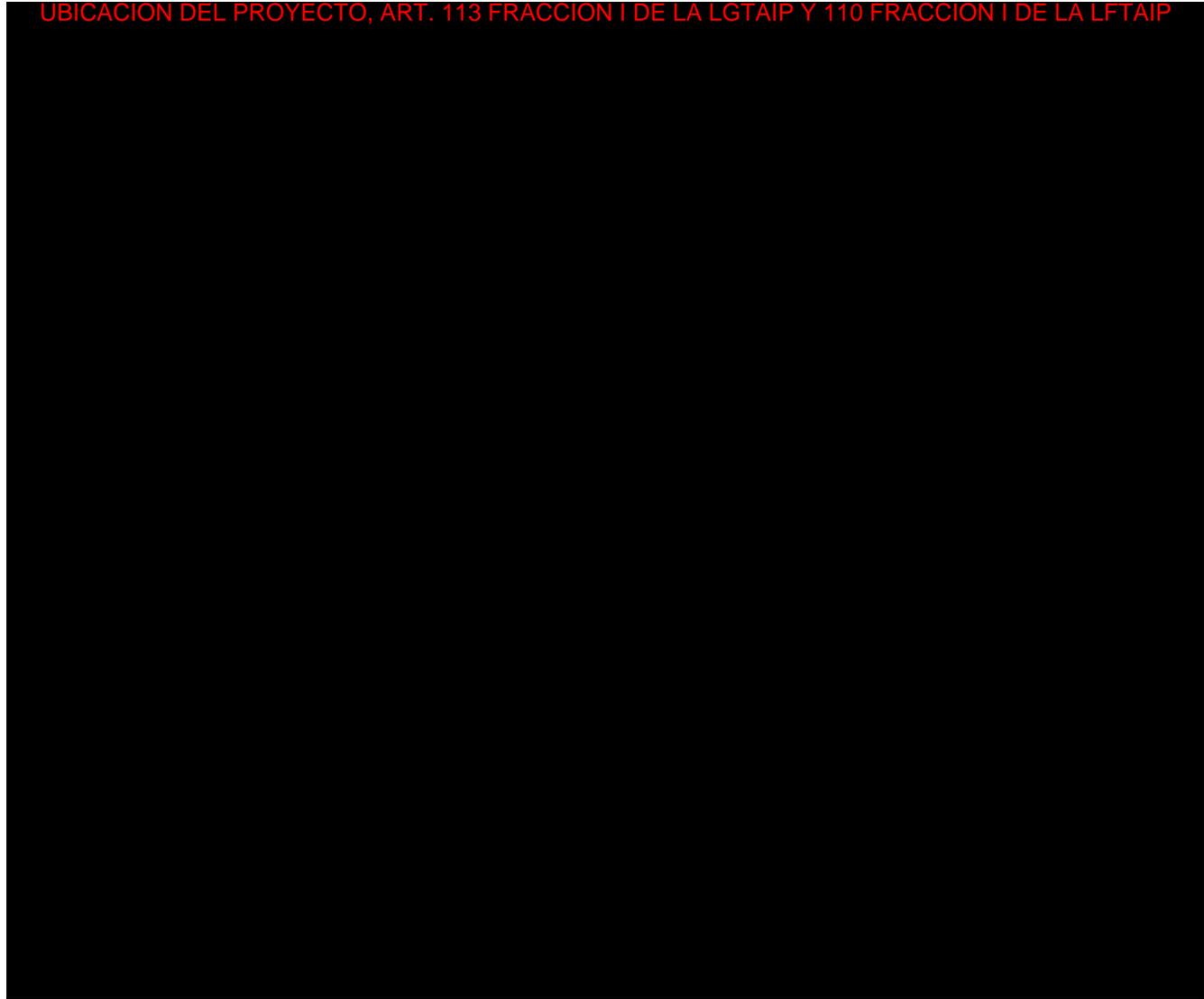


UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP





UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP

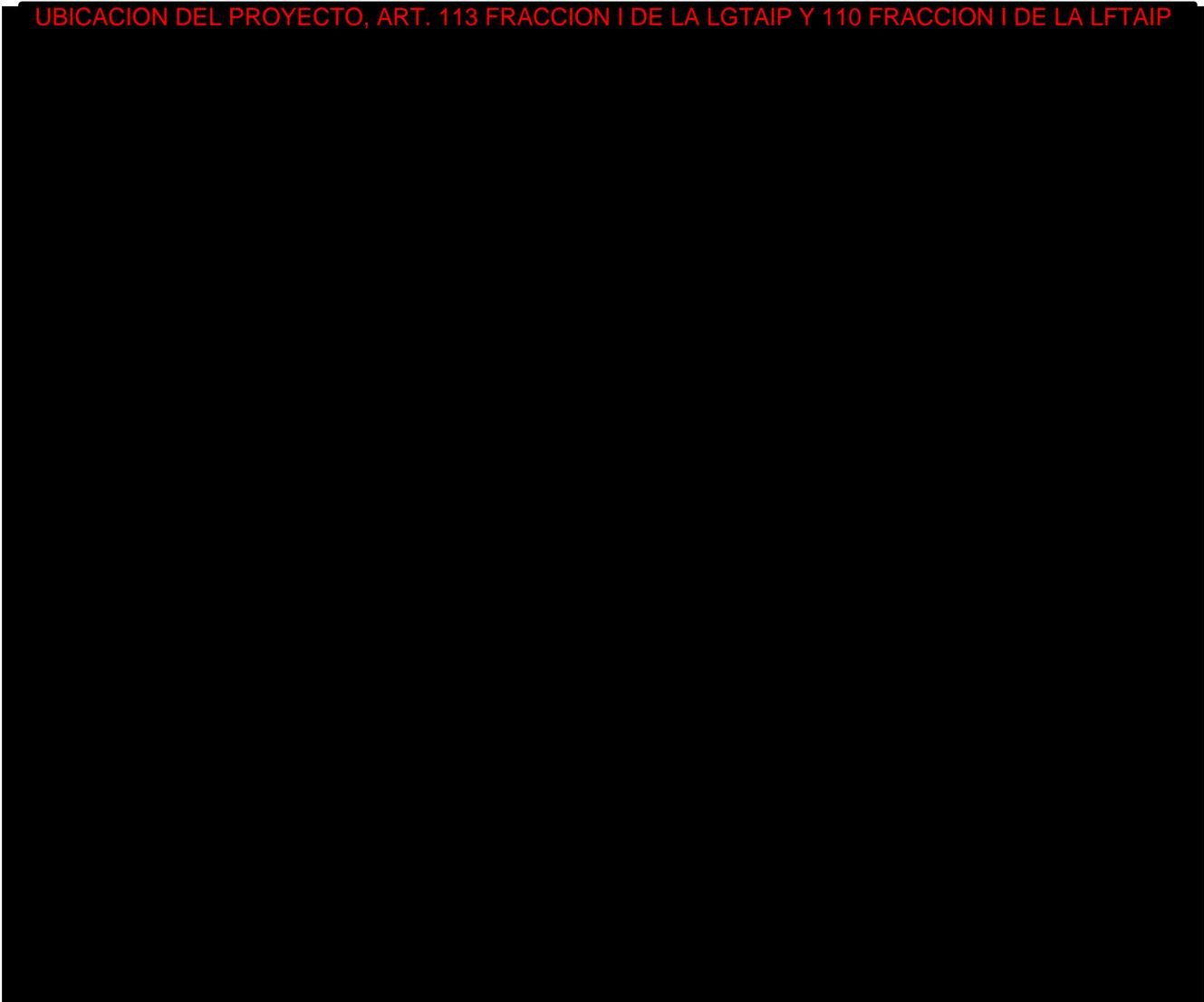




UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP



UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP





UBICACION DEL PROYECTO, ART. 113 FRACCION I DE LA LGTAIP Y 110 FRACCION I DE LA LFTAIP

II.2. Interacciones de Riesgo.

Para cada escenario de riesgo simulado se realiza un análisis y evaluación de posibles interacciones, en el probable caso de que estos se lleguen a presentar, considerando las áreas de interés, instalaciones, población, personal, ductos, cruzamientos, que se encuentren dentro de las zonas de Alto Riesgo y Amortiguamiento, donde se consideró la probabilidad de ocurrencia de un efecto dominó, se describe detalladamente las posibles afectaciones a los receptores de riesgo (personas, población, medio ambiente, instalaciones, etc.).

De igual manera, se mencionan las medidas preventivas que son consideradas para evitar el evento o minimizar la probabilidad de que ocurra, donde se justifica la compatibilidad del proyecto con el entorno, se consideran los programas de mantenimiento, e inspección, así como los programas de contingencias que se aplicarán una vez que se ponga en marcha el proyecto.

La evaluación de los riesgos a través de los escenarios más probables junto a la simulación de los eventos máximos definidos con el software SCRI fuego, permite determinar las áreas potencialmente



vulnerables, de tal manera que se generen recomendaciones para evitar la ocurrencia del evento o contar con la protección adecuada en caso de que este ocurra.

| Efectos sobre la población, infraestructura y/o ambiente existente en la Zona de Alto Riesgo y Zona de Amortiguamiento. | Sistemas de Seguridad y Medidas preventivas (identificadas en sesiones de trabajo). |
|---|---|
| Escenario 1.1. Incendio (100%) de Gas Natural en la ERM de la Estación de Compresión Tijuana. | |
| <p>Los niveles de radiación para la Zonas de Alto Riesgo y Amortiguamiento obtenidos para el presente evento, causarán daños al personal, la población o el ambiente de acuerdo a los siguientes datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A 37 kW/m². 100% de mortalidad en 1 minuto. • A 25 kW/m². 1% de mortalidad en 1 minuto. Lesiones significativas en 10 segundos. • A 12,5 kW/m². Máximo soportable protegido con trajes especiales, por tiempo limitado. Es más que conveniente, refrigerar a la persona expuesta a esta dosis. Sin trajes especiales, 1% de mortalidad en 1 minuto, quemaduras de 1er grado en 10 segundos. • A 9,5 kW/m². Umbral de dolor alcanzado después de 8 segundos, quemaduras de segundo grado después de 20 segundos. • A 8 kW/m². Umbral de letalidad (1% de afectación) por incendio, para un tiempo de exposición de 1 minuto. Asfixia por la disminución de Oxígeno y la exposición a los humos generados por el incendio. <p><u>Personal y Población:</u> La afectación que se espera en las personas al momento de generarse un incendio es inminente, debido a que la instalación se encuentra dentro de la mancha urbana, además de que durante la operación de la Estación se encontrara personal operativo de la misma. Las consecuencias para estas personas serán del 100 % de mortalidad en un minuto para las personas que se encuentren inmediatas al evento y para las que se encuentren a menos de 3 m la consecuencia será del 1% de probabilidad de mortalidad en 1 minuto o lesiones significativas en 10 segundos. A partir de los 2 m donde se tendrán 10 kW/m² aproximadamente de radiación, las personas alcanzarán el umbral del dolor a los 8 segundos de exposición, presentando quemaduras de segundo grado después de 20 segundos, con 8 kW/m² se entra al umbral de letalidad por incendio para un tiempo de exposición de 1 minuto, posteriormente. A partir del límite de la Zona de Alto Riesgo a una distancia de 5.8 m y donde se tendrá una radiación de 5 kW/m², será suficiente para causar dolor si no se protege en 20 segundos, así mismo, es factible la formación de ampollas en la piel. Respecto a la Zona de Amortiguamiento, misma que va del límite de la ZAR y hasta los 11.2 m, donde se recibirán radiaciones de 1.4 kW/m², para las personas que reciban dicha radiación, no se tendrá incomodidad durante la exposición prolongada.</p> <p><u>Ambiente:</u> Para las posibles afectaciones del entorno ambiental, es importante señalar que no se encuentra ninguna área natural protegida cercana, al igual que ningún cuerpo de agua que pudiera ser afectado. Respecto a la vegetación aledaña a las instalaciones de la ERM, prácticamente será nula, por lo que no puede resultar con daños debido a los efectos de la radiación, en caso de que se llegase a existir algún vegetación inmediata a las instalaciones, esta presentaría su eliminación total en la zona del evento (incendio).</p> <p><u>Producción/Instalación:</u></p> | <ul style="list-style-type: none"> • Indicador de presión y temperatura. • Computadora de flujo • Medidor • By pass • PLC de proceso • Sistema de tierras físicas y pararrayos. |



| Efectos sobre la población, infraestructura y/o ambiente existente en la Zona de Alto Riesgo y Zona de Amortiguamiento. | Sistemas de Seguridad y Medidas preventivas (identificadas en sesiones de trabajo). |
|--|---|
| Escenario 1.1. Incendio (100%) de Gas Natural en la ERM de la Estación de Compresión Tijuana. | |
| <p>Perdidas económicas derivadas del daño a los equipos y la pérdida en la producción.</p> <p>Los niveles de radiación para la Zona de Alto Riesgo obtenidos para el presente evento, causarán daños en infraestructura de acuerdo a los siguientes datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A 11,7 kW/m². El acero delgado, parcialmente aislado, puede perder su integridad mecánica. • A 12,5 kW/m². Energía mínima para encender madera después de una larga exposición, con llama Ignición de tubos y recubrimientos de plástico en cables eléctricos. • A 25 kW/m². El acero delgado, aislado, puede perder su integridad mecánica. Energía mínima para encender madera, por larga exposición, sin llama daños severos a equipos de instrumentación. • A 37,5 kW/m². Suficiente para causar daños a equipos de proceso; colapso de estructuras. • A 40 kW/m². Máximo tolerable por el acero estructural y el hormigón prensado, destrucción de equipos y tanques. • A 60 kW/m². Máxima radiación tolerable por el cemento. • A 200 kW/m². Debilitamiento del hormigón armado. <p>El daño a la infraestructura que podría presentarse si el evento llegara a generarse, en la Zona de Alto Riesgo (Otro) se tienen principalmente en los equipos de la Estación que se encuentran dentro de un radio de 3.2 m donde recibirán aproximadamente 12.5 kW/m², misma radiación que causará que los equipos de la ERM sufran severos daños.</p> | |

| Efectos sobre la población, infraestructura y/o ambiente existente en la Zona de Alto Riesgo y Zona de Amortiguamiento. | Sistemas de Seguridad y Medidas preventivas (identificadas en sesiones de trabajo). |
|--|---|
| Escenario 1.2. Sobrepresión (100%) de Gas Natural en la ERM de la Estación de Compresión Tijuana. | |
| <p>Los niveles de sobrepresión obtenidos para el presente evento, causarán daños en personas, la población o ambiente de acuerdo a los siguientes datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ A 0,3 psi. 95% de probabilidad de no sufrir daños importantes en personas. ▪ A 2,3 psi. Umbral (1%) de rotura de tímpanos en personas. ▪ A 12,5 psi. 90% probabilidad de rotura de tímpanos en personas. ▪ A 14,3 psi. Umbral (1%) de probabilidad de muertes por hemorragia pulmonar. ▪ A 25,16 psi. 90% de probabilidad de muertes por hemorragia pulmonar. <p>Personal y población:</p> <p>La afectación que se espera en las personas al momento de generarse una explosión es inminente, debido a que la instalación se encuentra dentro de la mancha urbana, además de que durante la operación de la Estación se encontrara personal operativo de la misma. La afectación a la población que se encuentre dentro de un radio de 1.44 m de distancia donde se tendrán 300 psi, el daño a la población será la muerte instantánea y a los 5 m se tiene el 90%</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Indicador de presión y temperatura. • Computadora de flujo • Medidor • By pass • PLC de proceso • Sistema de tierras físicas y pararrayos. |



| Efectos sobre la población, infraestructura y/o ambiente existente en la Zona de Alto Riesgo y Zona de Amortiguamiento. | Sistemas de Seguridad y Medidas preventivas (identificadas en sesiones de trabajo). |
|--|--|
| Escenario 1.2. Sobrepresión (100%) de Gas Natural en la ERM de la Estación de Compresión Tijuana. | |
| <p>de probabilidad de muertes por hemorragia pulmonar, ya que se recibirían 25 psi aproximadamente. A 5.85 m del evento las personas recibirán aproximadamente 14 psi lo que provocaría la rotura de tímpanos. A las personas que se encuentren en los límites de la Zona de Alto Riesgo, recibirían 1 psi, mismo que no provocará daños importantes a las personas.</p> <p><u>Ambiente:</u> La afectación que sufrirá el medio ambiente será principalmente sobre el tipo de suelo, ya que, con 300 psi, son suficientes para formar un cráter en la tierra hasta una distancia de 1.44 m.</p> <p><u>Producción/Instalación:</u> Perdidas económicas derivadas del daño a los equipos y la pérdida en la producción.</p> <p>Los niveles de sobrepresión para la Zona de Alto Riesgo obtenidos para el presente evento, causarán daños en infraestructura de acuerdo a los siguientes datos:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ A 3 psi. Destrucción de muros de concreto no reforzado o de block prequemado.▪ A 4,0 psi. Ruptura de recubrimientos▪ A 5,0 psi. Postes de madera arrancados.▪ A 7,0 psi. Volcadura de carros de ferrocarril con carga.▪ A 9,0 psi. Demolición de contenedores de ferrocarril con carga.▪ A 10,0 psi. Posible destrucción total de edificios.▪ A 14,5 - 29,0 psi. Rango de 1 a 99% de fatalidades entre las personas expuestas debido a los efectos directos del estallido.▪ A 300 psi. Formación de cráter. <p>La afectación principal será para los equipos que se encuentran dentro de un radio de 1.44 m ya que se tendrá la formación de un cráter en el suelo y por ende la desaparición total de los equipos o instalaciones asociadas, además, a un radio de 8.33 m se tendrían 7 psi donde el daño será probablemente el desprendimiento de los equipos aledaños, por la sobrepresión ejercida, así como volcadura de algún vehículo que se encuentre cercano a esta distancia cuando ocurra el evento. A los 14 m y a los límites de la Zona de Alto Riesgo (32 m) se encuentran las instalaciones y equipos auxiliares de la Estación, mismas que recibirían de 3 a 1 psi, donde podría ser destruido o deformado el concreto de los muros no reforzados, así mismo, las estructuras de acero se verán seriamente afectadas (distorsión estructural). Referente a la Zona de amortiguamiento, donde se tendrá una presión de 1 psi a 0.5 psi, normalmente se puede presentar daño menor la instalación colindantes, ventanas de vidrio despedazadas.</p> | |



| Efectos sobre la población, infraestructura y/o ambiente existente en la Zona de Alto Riesgo y Zona de Amortiguamiento | Sistemas de Seguridad y Medidas preventivas (identificadas en sesiones de trabajo) |
|--|---|
| <p>Escenario 2.1. Incendio (100%) de Gas Natural en el Área de Compresores de la Estación de Compresión Tijuana.</p> | |
| <p>Los niveles de radiación para la Zonas de Alto Riesgo y Amortiguamiento obtenidos para el presente evento, causarán daños al personal, la población o el ambiente de acuerdo a los siguientes datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A 37 kW/m². 100% de mortalidad en 1 minuto. • A 25 kW/m². 1% de mortalidad en 1 minuto. Lesiones significativas en 10 segundos. • A 12,5 kW/m². Máximo soportable protegido con trajes especiales, por tiempo limitado. Es más que conveniente, refrigerar a la persona expuesta a esta dosis. Sin trajes especiales, 1% de mortalidad en 1 minuto, quemaduras de 1er grado en 10 segundos. • A 9,5 kW/m². Umbral de dolor alcanzado después de 8 segundos, quemaduras de segundo grado después de 20 segundos. • A 8 kW/m². Umbral de letalidad (1% de afectación) por incendio, para un tiempo de exposición de 1 minuto. Asfixia por la disminución de Oxígeno y la exposición a los humos generados por el incendio. <p><u>Personal y Población:</u> La afectación que se espera en las personas al momento de generarse un incendio es inminente, debido a que la instalación se encuentra dentro de la mancha urbana, además de que durante la operación de la Estación se encontrara personal operativo de la misma, por lo que, en un radio de hasta 11.15 m de donde se genere el evento, las consecuencias para las personas será del 100 % de mortalidad en un minuto, ya que recibirán una radiación aproximada 37.5 kW/m². A partir de los 21 m donde se tendrán 10 kW/m² aproximadamente de radiación, las personas alcanzaran el umbral del dolor a los 8 segundos de exposición, presentando quemaduras de segundo grado después de 20 segundos, con 8 kW/m² se entra al umbral de letalidad por incendio para un tiempo de exposición de 1 minuto. A partir del límite de la Zona de Alto Riesgo a una distancia de 30.1 m y donde se tendrá una radiación de 5 kW/m², será suficiente para causar dolor si no se protege en 20 segundos, así mismo, es factible la formación de ampollas en la piel. Respecto a la Zona de Amortiguamiento, misma que va del límite de la ZAR y hasta los 55.68 m, donde se recibirán radiaciones de 1.4 kW/m², para las personas que reciban dicha radiación, no se tendrá incomodidad durante la exposición prolongada.</p> <p><u>Ambiente:</u> Para las posibles afectaciones del entorno ambiental, es importante señalar que no se encuentra ninguna área natural protegida cercana, al igual que ningún cuerpo de agua que pudiera ser afectado. Respecto a la vegetación aledaña a las instalaciones del área de compresión, prácticamente será nula, por lo que no puede resultar con daños debido a los efectos de la radiación, en caso de que se llegase a existir algún vegetación inmediata a las instalaciones, esta presentaría su eliminación total en la zona del evento (incendio).</p> <p><u>Producción/Instalación:</u> Perdidas económicas derivadas del daño a los equipos y la perdida en la producción.</p> <p>Los niveles de radiación para la Zona de Alto Riesgo obtenidos para el</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Indicadores de presión y temperatura. • Válvulas con actuador neumático. • Controlador lógico programable de proceso (PLC) del compresor. • PLC Maestro • Sistema de Venteo. • Detectores de gas/mezclas explosivas. |



| Efectos sobre la población, infraestructura y/o ambiente existente en la Zona de Alto Riesgo y Zona de Amortiguamiento | Sistemas de Seguridad y Medidas preventivas (identificadas en sesiones de trabajo) |
|---|--|
| Escenario 2.1. Incendio (100%) de Gas Natural en el Área de Compresores de la Estación de Compresión Tijuana. | |
| <p>presente evento, causarán daños en infraestructura de acuerdo a los siguientes datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A 11,7 kW/m². El acero delgado, parcialmente aislado, puede perder su integridad mecánica. • A 12,5 kW/m². Energía mínima para encender madera después de una larga exposición, con llama Ignición de tubos y recubrimientos de plástico en cables eléctricos. • A 25 kW/m². El acero delgado, aislado, puede perder su integridad mecánica. Energía mínima para encender madera, por larga exposición, sin llama daños severos a equipos de instrumentación. • A 37,5 kW/m². Suficiente para causar daños a equipos de proceso; colapso de estructuras. • A 40 kW/m². Máximo tolerable por el acero estructural y el hormigón prensado, destrucción de equipos y tanques. • A 60 kW/m². Máxima radiación tolerable por el cemento. • A 200 kW/m². Debilitamiento del hormigón armado. <p>El daño a la infraestructura que podría presentarse si el evento llegara a generarse, en la Zona de Alto Riesgo (Otro) se tienen principalmente en los equipos de la Estación que se encuentran dentro de un radio de 19.33 m donde recibirán aproximadamente 12.5 kW/m², misma radiación que causará que los equipos de instrumentación del sistema de compresión, la ERM y postes de llenado principalmente sufrirán severos daños por la radiación emitida.</p> | |

| Efectos sobre la población, infraestructura y/o ambiente existente en la Zona de Alto Riesgo y Zona de Amortiguamiento | Sistemas de Seguridad y Medidas preventivas (identificadas en sesiones de trabajo) |
|--|---|
| Escenario 2.2 Sobrepresión (100%) de Gas Natural en el Área de Compresores de la Estación de Compresión Tijuana. | |
| <p>Los niveles de sobrepresión obtenidos para el presente evento, causarán daños en personas, la población o ambiente de acuerdo a los siguientes datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ A 0,3 psi. 95% de probabilidad de no sufrir daños importantes en personas. ▪ A 2,3 psi. Umbral (1%) de rotura de tímpanos en personas. ▪ A 12,5 psi. 90% probabilidad de rotura de tímpanos en personas. ▪ A 14,3 psi. Umbral (1%) de probabilidad de muertes por hemorragia pulmonar. ▪ A 25,16 psi. 90% de probabilidad de muertes por hemorragia pulmonar. <p>Personal y población: La afectación que se espera en las personas al momento de generarse una explosión es inminente, debido a que la instalación se encuentra dentro de la mancha urbana, además de que durante la operación de la Estación se encontrara personal operativo de la misma. La afectación a la población que se encuentre dentro de un radio de 4.3 m de distancia donde se tendrán 300 psi, el daño a la población será la muerte instantánea y a partir de 14.5 m se tiene el 90% de probabilidad de muertes por hemorragia pulmonar, ya que se recibirán 25 psi aproximadamente. A 17.3 m del evento las personas recibirán</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Indicadores de presión y temperatura. • Válvulas con actuador neumático. • Controlador lógico programable de proceso (PLC) del compresor. • PLC Maestro • Sistema de Venteo. • Detectores de gas/mezclas explosivas. |



| Efectos sobre la población, infraestructura y/o ambiente existente en la Zona de Alto Riesgo y Zona de Amortiguamiento | Sistemas de Seguridad y Medidas preventivas (identificadas en sesiones de trabajo) |
|---|--|
| Escenario 2.2 Sobrepresión (100%) de Gas Natural en el Área de Compresores de la Estación de Compresión Tijuana. | |
| <p>aproximadamente 14 psi lo que provocaría rotura de tímpanos. A las personas que se encuentren en los límites de la Zona de Alto Riesgo, recibirían 1 psi por lo que no provocará daños importantes a las personas.</p> <p><u>Ambiente:</u> La afectación que sufrirá el medio ambiente será principalmente sobre el tipo de suelo, ya que, con 300 psi, son suficientes para formar un cráter en la tierra hasta una distancia de 4.3 m.</p> <p><u>Producción/Instalación:</u> Perdidas económicas derivadas del daño a los equipos y la pérdida en la producción.</p> <p>Los niveles de sobrepresión para la Zona de Alto Riesgo obtenidos para el presente evento, causarán daños en infraestructura de acuerdo a los siguientes datos:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ A 3 psi. Destrucción de muros de concreto no reforzado o de block quemado.▪ A 4,0 psi. Ruptura de recubrimientos▪ A 5,0 psi. Postes de madera arrancados.▪ A 7,0 psi. Volcadura de carros de ferrocarril con carga.▪ A 9,0 psi. Demolición de contenedores de ferrocarril con carga.▪ A 10,0 psi. Posible destrucción total de edificios.▪ A 14,5 - 29,0 psi. Rango de 1 a 99% de fatalidades entre las personas expuestas debido a los efectos directos del estallido.▪ A 300 psi. Formación de cráter. <p>La afectación principal será para los equipos que se encuentran dentro de un radio de 4.3 m ya que se tendrá la formación de un cráter en el suelo y por ende la desaparición total de los equipos o instalaciones asociadas. A 20.5 m donde se reciben 10 psi será inminente la posible destrucción total de edificios, además, a un radio de 24.9 m se tendrían 7 psi donde el daño será probablemente el desprendimiento de los equipos aledaños por la sobrepresión ejercida, así como volcadura de vehículos que pasen por el área cuando ocurra el evento. A partir de los 41.9 m y los límites de la Zona de Alto Riesgo (95.7 m) se encuentran las instalaciones y equipos auxiliares de la Estación, así como casas habitacionales, locales comerciales y demás instalaciones colindantes a la estación, las cuales recibirían de 3 a 1 psi, lo que provocaría la destrucción o deformación del concreto de los muros no reforzados, así mismo, las estructuras de acero se verán seriamente afectados (distorsión estructural). Referente a la Zona de amortiguamiento, donde se tendrá una presión de 1 psi a 0.5 psi, normalmente se pueden presentar daño menor a casas e instalaciones, ventanas de vidrio despedazadas, entre otras consecuencias menores.</p> | |



| Efectos sobre la población, infraestructura y/o ambiente existente en la Zona de Alto Riesgo y Zona de Amortiguamiento | Sistemas de Seguridad y Medidas preventivas (identificadas en sesiones de trabajo) |
|---|---|
| Escenario 2.3. Incendio (20%) de Gas Natural en el Área de Compresores de la Estación de Compresión Tijuana. | |
| <p>Los niveles de radiación para la Zonas de Alto Riesgo y Amortiguamiento obtenidos para el presente evento, causarán daños al personal, la población o el ambiente de acuerdo a los siguientes datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A 37 kW/m². 100% de mortalidad en 1 minuto. • A 25 kW/m². 1% de mortalidad en 1 minuto. Lesiones significativas en 10 segundos. • A 12,5 kW/m². Máximo soportable protegido con trajes especiales, por tiempo limitado. Es más que conveniente, refrigerar a la persona expuesta a esta dosis. Sin trajes especiales, 1% de mortalidad en 1 minuto, quemaduras de 1er grado en 10 segundos. • A 9,5 kW/m². Umbral de dolor alcanzado después de 8 segundos, quemaduras de segundo grado después de 20 segundos. • A 8 kW/m². Umbral de letalidad (1% de afectación) por incendio, para un tiempo de exposición de 1 minuto. Asfixia por la disminución de Oxígeno y la exposición a los humos generados por el incendio. <p><u>Personal y Población:</u> La afectación que se espera en las personas al momento de generarse un incendio es inminente, debido a que la instalación se encuentra dentro de la mancha urbana, además de que durante la operación de la Estación se encontrara personal operativo de la misma, por lo que, cuando haya personas en un radio de hasta 2.0 m de donde se genere el evento, las consecuencias para estas personas serán del 100 % de mortalidad en un minuto, ya que recibirán una radiación aproximada 37.5 kW/m². A partir de los 4.5 m donde se tendrán 10 kW/m² aproximadamente de radiación, las personas alcanzaran el umbral del dolor a los 8 segundos de exposición, presentando quemaduras de segundo grado después de 20 segundos, con 8 kW/m² se entra al umbral de letalidad por incendio para un tiempo de exposición de 1 minuto. A partir del límite de la Zona de Alto Riesgo a una distancia de 6.3 m y donde se tendrá una radiación de 5 kW/m², será suficiente para causar dolor si no se protege en 20 segundos, así mismo, es factible la formación de ampollas en la piel. Respecto a la Zona de Amortiguamiento, misma que va del límite de la ZAR y hasta los 11.8 m, donde se recibirán radiaciones de 1.4 kW/m², para las personas que reciban dicha radiación, no se tendrá incomodidad durante la exposición prolongada.</p> <p><u>Ambiente:</u> Para las posibles afectaciones del entorno ambiental, es importante señalar que no se encuentra ninguna área natural protegida cercana, al igual que ningún cuerpo de agua que pudiera ser afectado. Respecto a la vegetación aledaña a las instalaciones del área de compresión, prácticamente será nula, por lo que no puede resultar con daños debido a los efectos de la radiación, en caso de que se llegase a existir algún vegetación inmediata a las instalaciones, esta presentaría su eliminación total en la zona del evento (incendio).</p> <p><u>Producción/Instalación:</u> Perdidas económicas derivadas del daño a los equipos y la perdida en la producción.</p> <p>Los niveles de radiación para la Zona de Alto Riesgo obtenidos para el</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Indicadores de presión y temperatura. • Válvulas con actuador neumático. • Controlador lógico programable de proceso (PLC) del compresor. • PLC Maestro • Sistema de Venteo. • Detectores de gas/mezclas explosivas. |



| Efectos sobre la población, infraestructura y/o ambiente existente en la Zona de Alto Riesgo y Zona de Amortiguamiento | Sistemas de Seguridad y Medidas preventivas (identificadas en sesiones de trabajo) |
|---|--|
| Escenario 2.3. Incendio (20%) de Gas Natural en el Área de Compresores de la Estación de Compresión Tijuana. | |
| <p>presente evento, causarán daños en infraestructura de acuerdo a los siguientes datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A 11,7 kW/m². El acero delgado, parcialmente aislado, puede perder su integridad mecánica. • A 12,5 kW/m². Energía mínima para encender madera después de una larga exposición, con llama Ignición de tubos y recubrimientos de plástico en cables eléctricos. • A 25 kW/m². El acero delgado, aislado, puede perder su integridad mecánica. Energía mínima para encender madera, por larga exposición, sin llama daños severos a equipos de instrumentación. • A 37,5 kW/m². Suficiente para causar daños a equipos de proceso; colapso de estructuras. • A 40 kW/m². Máximo tolerable por el acero estructural y el hormigón prensado, destrucción de equipos y tanques. • A 60 kW/m². Máxima radiación tolerable por el cemento. • A 200 kW/m². Debilitamiento del hormigón armado. <p>El daño a la infraestructura que podría presentarse si el evento llegara a generarse, en la Zona de Alto Riesgo (Otro) se tiene principalmente en los equipos de la Estación que se encuentren dentro de un radio de 3.9 m donde recibirán aproximadamente 12.5 kW/m², misma radiación que causará que los equipos de instrumentación del equipo de compresión, sufra severos daños.</p> | |

| Efectos sobre la población, infraestructura y/o ambiente existente en la Zona de Alto Riesgo y Zona de Amortiguamiento | Sistemas de Seguridad y Medidas preventivas (identificadas en sesiones de trabajo) |
|---|---|
| Escenario 2.4. Sobrepresión (20%) de Gas Natural en el Área de Compresores de la Estación de Compresión Tijuana. | |
| <p>Los niveles de sobrepresión obtenidos para el presente evento, causarán daños en personas, la población o ambiente de acuerdo a los siguientes datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ A 0,3 psi. 95% de probabilidad de no sufrir daños importantes en personas. ▪ A 2,3 psi. Umbral (1%) de rotura de tímpanos en personas. ▪ A 12,5 psi. 90% probabilidad de rotura de tímpanos en personas. ▪ A 14,3 psi. Umbral (1%) de probabilidad de muertes por hemorragia pulmonar. ▪ A 25,16 psi. 90% de probabilidad de muertes por hemorragia pulmonar. <p>Personal y población: La afectación que se espera en las personas al momento de generarse una explosión es inminente, debido a que la instalación se encuentra dentro de la mancha urbana, además de que durante la operación de la Estación se encontrara personal operativo de la misma. La afectación a la población que se encuentre dentro de un radio de 1.4 m de distancia donde se tendrán 300 psi, el daño a la población será la muerte instantánea y a partir de 5 m se tiene el 90% de probabilidad de muertes por hemorragia pulmonar, ya que se recibirían 25 psi aproximadamente. A 5.9 m del evento las personas recibirán</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Indicadores de presión y temperatura. • Válvulas con actuador neumático. • Controlador lógico programable de proceso (PLC) del compresor. • PLC Maestro • Sistema de Venteo. • Detectores de gas/mezclas explosivas. |



| Efectos sobre la población, infraestructura y/o ambiente existente en la Zona de Alto Riesgo y Zona de Amortiguamiento | Sistemas de Seguridad y Medidas preventivas (identificadas en sesiones de trabajo) |
|---|---|
| Escenario 2.4. Sobrepresión (20%) de Gas Natural en el Área de Compresores de la Estación de Compresión Tijuana. | |
| <p>aproximadamente 14 psi lo que provocaría rotura de tímpanos. A las personas que se encuentren en los límites de la Zona de Alto Riesgo, recibirían 1 psi por lo que no provocará daños importantes a las personas.</p> <p><u>Ambiente:</u> La afectación que sufrirá el medio ambiente será principalmente sobre el tipo de suelo, ya que, con 300 psi, son suficientes para formar un cráter en la tierra hasta una distancia de 1.4 m.</p> <p><u>Producción/Instalación:</u> Perdidas económicas derivadas del daño a los equipos y la pérdida en la producción.</p> <p>Los niveles de sobrepresión para la Zona de Alto Riesgo obtenidos para el presente evento, causarán daños en infraestructura de acuerdo a los siguientes datos:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ A 3 psi. Destrucción de muros de concreto no reforzado o de block prequemado.▪ A 4,0 psi. Ruptura de recubrimientos▪ A 5,0 psi. Postes de madera arrancados.▪ A 7,0 psi. Volcadura de carros de ferrocarril con carga.▪ A 9,0 psi. Demolición de contenedores de ferrocarril con carga.▪ A 10,0 psi. Posible destrucción total de edificios.▪ A 14,5 - 29,0 psi. Rango de 1 a 99% de fatalidades entre las personas expuestas debido a los efectos directos del estallido.▪ A 300 psi. Formación de cráter. <p>La afectación principal será para los equipos que se encuentran dentro de un radio de 1.4 m ya que se tendrá la formación de un cráter en el suelo y por ende la desaparición total de los equipos o instalaciones asociadas. A 7 m donde se reciben 10 psi será inminente la posible destrucción total de edificios, además, a un radio de 8.5 m se tendrían 7 psi donde el daño será probablemente el desprendimiento de los equipos aledaños por la sobrepresión ejercida, así como volcadura de vehículos que se encuentren cercanos a los límites mencionados cuando ocurra el evento. A partir de los 14.3 m y los límites de la Zona de Alto Riesgo (32.7 m) se encuentran las instalaciones y equipos auxiliares de la Estación, mismas que recibirían de 3 a 1 psi, lo que provocaría la destrucción o deformación del concreto de los muros no reforzados, así mismo, las estructuras de acero se verán seriamente afectados (distorsión estructural). Referente a la Zona de amortiguamiento, donde se tendrá una presión de 1 psi a 0.5 psi, normalmente se pueden presentar daño menor a las instalaciones colindantes, ventanas de vidrio despedazadas, entre otras consecuencias menores.</p> | |



| Efectos sobre la población, infraestructura y/o ambiente existente en la Zona de Alto Riesgo y Zona de Amortiguamiento | Sistemas de Seguridad y Medidas preventivas (identificadas en sesiones de trabajo) |
|--|--|
| Escenario 3.1 Incendio (100%) de Gas Natural en el poste de llenado (fill post) Estación de Compresión Tijuana. | |
| <p>Los niveles de radiación para la Zonas de Alto Riesgo y Amortiguamiento obtenidos para el presente evento, causarán daños al personal, la población o el ambiente de acuerdo a los siguientes datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A 37 kW/m². 100% de mortalidad en 1 minuto. • A 25 kW/m². 1% de mortalidad en 1 minuto. Lesiones significativas en 10 segundos. • A 12,5 kW/m². Máximo soportable protegido con trajes especiales, por tiempo limitado. Es más que conveniente, refrigerar a la persona expuesta a esta dosis. Sin trajes especiales, 1% de mortalidad en 1 minuto, quemaduras de 1er grado en 10 segundos. • A 9,5 kW/m². Umbral de dolor alcanzado después de 8 segundos, quemaduras de segundo grado después de 20 segundos. • A 8 kW/m². Umbral de letalidad (1% de afectación) por incendio, para un tiempo de exposición de 1 minuto. Asfixia por la disminución de Oxígeno y la exposición a los humos generados por el incendio. <p><u>Personal y Población:</u> La afectación que se espera en las personas al momento de generarse un incendio es inminente, debido a que la instalación se encuentra dentro de la mancha urbana, además de que durante la operación de la Estación se encontrara personal operativo de la misma, por lo que, en un radio de hasta 11.1 m de donde se genere el evento, las consecuencias para las personas será del 100 % de mortalidad en un minuto, ya que recibirán una radiación aproximada 37.5 kW/m². A partir de los 21 m donde se tendrán 10 kW/m² aproximadamente de radiación, las personas alcanzaran el umbral del dolor a los 8 segundos de exposición, presentando quemaduras de segundo grado después de 20 segundos, con 8 kW/m² se entra al umbral de letalidad por incendio para un tiempo de exposición de 1 minuto. A partir del límite de la Zona de Alto Riesgo a una distancia de 30.1 m y donde se tendrá una radiación de 5 kW/m², será suficiente para causar dolor si no se protege en 20 segundos, así mismo, es factible la formación de ampollas en la piel. Respecto a la Zona de Amortiguamiento, misma que va del límite de la ZAR y hasta los 55.6 m, donde se recibirán radiaciones de 1.4 kW/m², para las personas que reciban dicha radiación, no se tendrá incomodidad durante la exposición prolongada.</p> <p><u>Ambiente:</u> Para las posibles afectaciones del entorno ambiental, es importante señalar que no se encuentra ninguna área natural protegida cercana, al igual que ningún cuerpo de agua que pudiera ser afectado. Respecto a la vegetación aledaña a las instalaciones del área de carga de GNC, prácticamente será nula, por lo que no puede resultar con daños debido a los efectos de la radiación, en caso de que se llegase a existir algún vegetación inmediata a las instalaciones, esta presentaría su eliminación total en la zona del evento (incendio).</p> <p><u>Producción/Instalación:</u> Perdidas económicas derivadas del daño a los equipos y la perdida en la producción.</p> <p>Los niveles de radiación para la Zona de Alto Riesgo obtenidos para el</p> | <ul style="list-style-type: none"> • PLC de proceso. • Manómetro con indicador y transmisor de presión. • Botones de paro de emergencia • Sistema de venteos (Válvula de seguridad). |



| Efectos sobre la población, infraestructura y/o ambiente existente en la Zona de Alto Riesgo y Zona de Amortiguamiento | Sistemas de Seguridad y Medidas preventivas (identificadas en sesiones de trabajo) |
|--|--|
| Escenario 3.1 Incendio (100%) de Gas Natural en el poste de llenado (fill post) Estación de Compresión Tijuana. | |
| <p>presente evento, causarán daños en infraestructura de acuerdo a los siguientes datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A 11,7 kW/m². El acero delgado, parcialmente aislado, puede perder su integridad mecánica. • A 12,5 kW/m². Energía mínima para encender madera después de una larga exposición, con llama Ignición de tubos y recubrimientos de plástico en cables eléctricos. • A 25 kW/m². El acero delgado, aislado, puede perder su integridad mecánica. Energía mínima para encender madera, por larga exposición, sin llama daños severos a equipos de instrumentación. • A 37,5 kW/m². Suficiente para causar daños a equipos de proceso; colapso de estructuras. • A 40 kW/m². Máximo tolerable por el acero estructural y el hormigón prensado, destrucción de equipos y tanques. • A 60 kW/m². Máxima radiación tolerable por el cemento. • A 200 kW/m². Debilitamiento del hormigón armado. <p>El daño a la infraestructura que podría presentarse si el evento llegara a generarse, en la Zona de Alto Riesgo (Otro) se tienen principalmente en los equipos de la Estación que se encuentren dentro de un radio de 19.3 m donde recibirán aproximadamente 12.5 kW/m², misma radiación que causará que los equipos de instrumentación del sistema de llenado (carga de GNC), sistema de compresión, panel de control y la ERM principalmente sufrirán severos daños por la radiación emitida.</p> | |

| Efectos sobre la población, infraestructura y/o ambiente existente en la Zona de Alto Riesgo y Zona de Amortiguamiento | Sistemas de Seguridad y Medidas preventivas (identificadas en sesiones de trabajo) |
|---|--|
| Escenario 3.2 Sobrepresión (100%) de Gas Natural en el poste de llenado (fill post) Estación de Compresión Tijuana. | |
| <p>Los niveles de sobrepresión obtenidos para el presente evento, causarán daños en personas, la población o ambiente de acuerdo a los siguientes datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ A 0,3 psi. 95% de probabilidad de no sufrir daños importantes en personas. ▪ A 2,3 psi. Umbral (1%) de rotura de tímpanos en personas. ▪ A 12,5 psi. 90% probabilidad de rotura de tímpanos en personas. ▪ A 14,3 psi. Umbral (1%) de probabilidad de muertes por hemorragia pulmonar. ▪ A 25,16 psi. 90% de probabilidad de muertes por hemorragia pulmonar. <p>Personal y población: La afectación que se espera en las personas al momento de generarse una explosión es inminente, debido a que la instalación se encuentra dentro de la mancha urbana, además de que durante la operación de la Estación se encontrara personal operativo de la misma. La afectación a la población que se encuentre dentro de un radio de 4.3 m de distancia donde se tendrán 300 psi, el daño a la población será la muerte instantánea y a partir de 13.5 m se tiene el 90% de probabilidad de muertes por hemorragia pulmonar, ya que se</p> | <ul style="list-style-type: none"> • PLC de proceso. • Manómetro con indicador y transmisor de presión. • Botones de paro de emergencia • Sistema de venteos (Válvula de seguridad). |



| Efectos sobre la población, infraestructura y/o ambiente existente en la Zona de Alto Riesgo y Zona de Amortiguamiento | Sistemas de Seguridad y Medidas preventivas (identificadas en sesiones de trabajo) |
|--|--|
| Escenario 3.2 Sobrepresión (100%) de Gas Natural en el poste de llenado (fill post) Estación de Compresión Tijuana. | |
| <p>recibirían 25 psi aproximadamente. A 17.3 m del evento las personas recibirán aproximadamente 14 psi lo que provocaría rotura de tímpanos. A las personas que se encuentren en los límites de la Zona de Alto Riesgo, recibirían 1 psi por lo que no provocará daños importantes a las personas.</p> <p><u>Ambiente:</u> La afectación que sufrirá el medio ambiente será principalmente sobre el tipo de suelo, ya que, con 300 psi, son suficientes para formar un cráter en la tierra hasta una distancia de 4.3 m.</p> <p><u>Producción/Instalación:</u> Perdidas económicas derivadas del daño a los equipos y la pérdida en la producción.</p> <p>Los niveles de sobrepresión para la Zona de Alto Riesgo obtenidos para el presente evento, causarán daños en infraestructura de acuerdo a los siguientes datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ A 3 psi. Destrucción de muros de concreto no reforzado o de block quemado. ▪ A 4,0 psi. Ruptura de recubrimientos ▪ A 5,0 psi. Postes de madera arrancados. ▪ A 7,0 psi. Volcadura de carros de ferrocarril con carga. ▪ A 9,0 psi. Demolición de contenedores de ferrocarril con carga. ▪ A 10,0 psi. Posible destrucción total de edificios. ▪ A 14,5 - 29,0 psi. Rango de 1 a 99% de fatalidades entre las personas expuestas debido a los efectos directos del estallido. ▪ A 300 psi. Formación de cráter. <p>La afectación principal será para los equipos que se encuentran dentro de un radio de 4.3 m ya que se tendrá la formación de un cráter en el suelo y por ende la desaparición total de los equipos o instalaciones asociadas. A 20.5 m donde se reciben 10 psi será inminente la posible destrucción total de edificios, además, a un radio de 24.9 m se tendrían 7 psi donde el daño será probablemente el desprendimiento de los equipos aledaños por la sobrepresión ejercida, así como volcadura de vehículos que pasen por el área cuando ocurra el evento. A partir de los 41.9 m y los límites de la Zona de Alto Riesgo (95.7 m) se encuentran las instalaciones y equipos auxiliares de la Estación, así como casas habitacionales, locales comerciales y demás instalaciones colindantes a la estación, las cuales recibirían de 3 a 1 psi, lo que provocaría la destrucción o deformación del concreto de los muros no reforzados, así mismo, las estructuras de acero se verán seriamente afectados (distorsión estructural). Referente a la Zona de amortiguamiento, donde se tendrá una presión de 1 psi a 0.5 psi, normalmente se pueden presentar daño menor a casas e instalaciones, ventanas de vidrio despedazadas, entre otras consecuencias menores.</p> | |



| Efectos sobre la población, infraestructura y/o ambiente existente en la Zona de Alto Riesgo y Zona de Amortiguamiento | Sistemas de Seguridad y Medidas preventivas (identificadas en sesiones de trabajo) |
|---|---|
| Escenario 4.1. Incendio (100%) de Gas Natural en el Área de carga de GNC de la Estación de Compresión Tijuana. | |
| <p>Los niveles de radiación para la Zonas de Alto Riesgo y Amortiguamiento obtenidos para el presente evento, causarán daños al personal, la población o el ambiente de acuerdo a los siguientes datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A 37 kW/m². 100% de mortalidad en 1 minuto. • A 25 kW/m². 1% de mortalidad en 1 minuto. Lesiones significativas en 10 segundos. • A 12,5 kW/m². Máximo soportable protegido con trajes especiales, por tiempo limitado. Es más que conveniente, refrigerar a la persona expuesta a esta dosis. Sin trajes especiales, 1% de mortalidad en 1 minuto, quemaduras de 1er grado en 10 segundos. • A 9,5 kW/m². Umbral de dolor alcanzado después de 8 segundos, quemaduras de segundo grado después de 20 segundos. • A 8 kW/m². Umbral de letalidad (1% de afectación) por incendio, para un tiempo de exposición de 1 minuto. Asfixia por la disminución de Oxígeno y la exposición a los humos generados por el incendio. <p><u>Personal y Población:</u> La afectación que se espera en las personas al momento de generarse un incendio es inminente, debido a que la instalación se encuentra dentro de la mancha urbana, además de que durante la operación de la Estación se encontrara personal operativo de la misma, por lo que, en un radio de hasta 14.7 m de donde se genere el evento, las consecuencias para las personas será del 100 % de mortalidad en un minuto, ya que recibirán una radiación aproximada 37.5 kW/m². A partir de los 28 m donde se tendrán 10 kW/m² aproximadamente de radiación, las personas alcanzaran el umbral del dolor a los 8 segundos de exposición, presentando quemaduras de segundo grado después de 20 segundos, con 8 kW/m² se entra al umbral de letalidad por incendio para un tiempo de exposición de 1 minuto. A partir del límite de la Zona de Alto Riesgo a una distancia de 39.7 m y donde se tendrá una radiación de 5 kW/m², será suficiente para causar dolor si no se protege en 20 segundos, así mismo, es factible la formación de ampollas en la piel. Respecto a la Zona de Amortiguamiento, misma que va del límite de la ZAR y hasta los 73.3 m, donde se recibirán radiaciones de 1.4 kW/m², para las personas que reciban dicha radiación, no se tendrá incomodidad durante la exposición prolongada</p> <p><u>Ambiente:</u> Para las posibles afectaciones del entorno ambiental, es importante señalar que no se encuentra ninguna área natural protegida cercana, al igual que ningún cuerpo de agua que pudiera ser afectado. Respecto a la vegetación aledaña a las instalaciones del área de carga de GNC, prácticamente será nula, por lo que no puede resultar con daños debido a los efectos de la radiación, en caso de que se llegase a existir algún vegetación inmediata a las instalaciones, esta presentaría su eliminación total en la zona del evento (incendio).</p> <p><u>Producción/Instalación:</u> Perdidas económicas derivadas del daño a los equipos y la pérdida en la</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Manómetro con Indicador y Transmisor de presión. • Válvula de seguridad en los tanques de almacenamiento. • PLC de proceso. |



| Efectos sobre la población, infraestructura y/o ambiente existente en la Zona de Alto Riesgo y Zona de Amortiguamiento | Sistemas de Seguridad y Medidas preventivas (identificadas en sesiones de trabajo) |
|---|--|
| Escenario 4.1. Incendio (100%) de Gas Natural en el Área de carga de GNC de la Estación de Compresión Tijuana. | |
| <p>producción.</p> <p>Los niveles de radiación para la Zona de Alto Riesgo obtenidos para el presente evento, causarán daños en infraestructura de acuerdo a los siguientes datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A 11,7 kW/m². El acero delgado, parcialmente aislado, puede perder su integridad mecánica. • A 12,5 kW/m². Energía mínima para encender madera después de una larga exposición, con llama ignición de tubos y recubrimientos de plástico en cables eléctricos. • A 25 kW/m². El acero delgado, aislado, puede perder su integridad mecánica. Energía mínima para encender madera, por larga exposición, sin llama daños severos a equipos de instrumentación. • A 37,5 kW/m². Suficiente para causar daños a equipos de proceso; colapso de estructuras. • A 40 kW/m². Máximo tolerable por el acero estructural y el hormigón prensado, destrucción de equipos y tanques. • A 60 kW/m². Máxima radiación tolerable por el cemento. • A 200 kW/m². Debilitamiento del hormigón armado. <p>El daño a la infraestructura que podría presentarse si el evento llegara a generarse, en la Zona de Alto Riesgo se tiene principalmente los equipos de la Estación que se encuentren dentro de un radio de 12 m; ya que los niveles de radiación (40 kW/m²) pueden derretir el acero del que están hechos dichos equipos, además de que alcanzara los equipos adyacentes a este y el incendio consecutivo de los equipos provocando un efecto dominó. A 25.4 m donde recibirán aproximadamente 12.5 kW/m², misma radiación que causará que los equipos de instrumentación de la ERM, el equipo de compresión y demás equipos auxiliares, sufrirán severos daños. En los límites de la Zona de Alto Riesgo, se encuentran instalaciones pertenecientes al mismo predio (servicios auxiliares) de la Estación, mismas que pueden presentar pérdida de su integridad mecánica y/o estructural.</p> | |

| Efectos sobre la población, infraestructura y/o ambiente existente en la Zona de Alto Riesgo y Zona de Amortiguamiento | Sistemas de Seguridad y Medidas preventivas (identificadas en sesiones de trabajo) |
|---|---|
| Escenario 4.2 Sobrepresión (100%) de Gas Natural en el Área de carga de GNC de la Estación de Compresión Tijuana. | |
| <p>Los niveles de sobrepresión obtenidos para el presente evento, causarán daños en personas, la población o ambiente de acuerdo a los siguientes datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ A 0,3 psi. 95% de probabilidad de no sufrir daños importantes en personas. ▪ A 2,3 psi. Umbral (1%) de rotura de tímpanos en personas. ▪ A 12,5 psi. 90% probabilidad de rotura de tímpanos en personas. ▪ A 14,3 psi. Umbral (1%) de probabilidad de muertes por hemorragia pulmonar. ▪ A 25,16 psi. 90% de probabilidad de muertes por hemorragia pulmonar. <p><u>Personal y población:</u></p> | <ul style="list-style-type: none"> • Manómetro con Indicador y Transmisor de presión. • Válvula de seguridad en los tanques de almacenamiento. • PLC de proceso. |



| Efectos sobre la población, infraestructura y/o ambiente existente en la Zona de Alto Riesgo y Zona de Amortiguamiento | Sistemas de Seguridad y Medidas preventivas (identificadas en sesiones de trabajo) |
|--|--|
| Escenario 4.2 Sobrepresión (100%) de Gas Natural en el Área de carga de GNC de la Estación de Compresión Tijuana. | |
| <p>La afectación que se espera en las personas al momento de generarse una explosión es inminente, debido a que la instalación se encuentra dentro de la mancha urbana, además de que durante la operación de la Estación se encontrara personal operativo de la misma. La afectación a la población que se encuentre dentro de un radio de 5.2 m de distancia donde se tendrán 300 psi, el daño a la población será la muerte instantánea y a partir de 16 m se tiene el 90% de probabilidad de muertes por hemorragia pulmonar, ya que se recibirían 25 psi aproximadamente. A 21 m del evento las personas recibirán aproximadamente 14 psi lo que provocaría rotura de tímpanos. A las personas que se encuentren en los límites de la Zona de Alto Riesgo, recibirían 1 psi por lo que no provocará daños importantes a las personas.</p> <p>Ambiente: La afectación que sufrirá el medio ambiente será principalmente sobre el tipo de suelo, ya que, con 300 psi, son suficientes para formar un cráter en la tierra hasta una distancia de 5.2 m.</p> <p>Producción/Instalación: Perdidas económicas derivadas del daño a los equipos y la pérdida en la producción.</p> <p>Los niveles de sobrepresión para la Zona de Alto Riesgo obtenidos para el presente evento, causarán daños en infraestructura de acuerdo a los siguientes datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ A 3 psi. Destrucción de muros de concreto no reforzado o de block quemado. ▪ A 4,0 psi. Ruptura de recubrimientos ▪ A 5,0 psi. Postes de madera arrancados. ▪ A 7,0 psi. Volcadura de carros de ferrocarril con carga. ▪ A 9,0 psi. Demolición de contenedores de ferrocarril con carga. ▪ A 10,0 psi. Posible destrucción total de edificios. ▪ A 14,5 - 29,0 psi. Rango de 1 a 99% de fatalidades entre las personas expuestas debido a los efectos directos del estallido. ▪ A 300 psi. Formación de cráter. <p>La afectación principal será para los equipos que se encuentran dentro de un radio de 5.3 m ya que se tendrá la formación de un cráter en el suelo y por ende la desaparición total de los equipos o instalaciones asociadas. A 24.9 m donde se reciben 10 psi será inminente la posible destrucción total de construcciones, además, a un radio de 30.1 m se tendrían 7 psi donde el daño será probablemente el desprendimiento de los equipos aledaños por la sobrepresión ejercida, así como volcadura de vehículos que pasen por el área cuando ocurra el evento o contenedores móviles que se encuentren estacionados cargando GNC. A partir de los 50 m y los límites de la Zona de Alto Riesgo (116 m) se encuentran instalaciones de la Estación, así como casas habitacionales colindantes al (Norte) y construcciones al oeste, las cuales recibirían de 3 a 1 psi, lo que provocaría la destrucción o deformación del concreto de los muros no reforzados de la instalación mencionada, así mismo, las estructuras de acero se verán seriamente afectados (distorsión estructural). Referente a la Zona de amortiguamiento, donde se tendrá una</p> | |



| | |
|--|--|
| <p>Efectos sobre la población, infraestructura y/o ambiente existente en la Zona de Alto Riesgo y Zona de Amortiguamiento</p> | <p>Sistemas de Seguridad y Medidas preventivas (identificadas en sesiones de trabajo)</p> |
| <p>Escenario 4.2 Sobrepresión (100%) de Gas Natural en el Área de carga de GNC de la Estación de Compresión Tijuana.</p> | |
| <p>presión de 1 psi a 0.5 psi, normalmente se pueden presentar daño menor a casas, ventanas de vidrio despedazadas, entre otras consecuencias menores.</p> | |

II.3. Efectos Sobre el Sistema Ambiental.

A continuación, se presentan los efectos en el Sistema Ambiental producto de la generación de un incendio o explosión, de acuerdo a las características planteadas en cada escenario de simulación (Ver Tabla 3 y 4):

Tabla 3. Efectos sobre el Sistema Ambiental por la generación de un incendio.

| Aspectos Abióticos | |
|--|--|
| Componente del SA | Nivel de Impacto (Catastrófico, grave, significativo, reparable o ninguno) |
| <p><u>Clima:</u> El tipo de clima existente en el Sistema Ambiental es Árido, Templado - BSKs. Un evento de las características planteadas que desencadene un incendio producto de la fuga de gas natural, no causara ninguna modificación en las condiciones del clima existente. Si bien, se generarán emisiones producto de la combustión de materiales que en su momento se encuentren en contacto con el chorro de fuego, éstas no serán significativas y no causarán variaciones en las condiciones micro climáticas de la zona, ya que, además, la atención por parte del personal encargado de la supervisión de la Estación será expedita y consistirá principalmente en el cierre de válvulas de aislamiento.</p> | <p>Ninguno</p> |
| <p><u>Geología y Geomorfología:</u> La zona donde se ubicará el proyecto, es caracterizada por presenta una topoforma de Meseta (meseta compleja con lomeríos), su altitud varía entre los 200 y 250 msnm, y un litología de tipo sedimentaria, por lo anterior, en caso de generarse un incendio producto de la fuga de gas natural, no se presentará afectaciones significativas derivadas del contacto con la radiación del incendio.</p> | <p>Reparable</p> |
| <p><u>Suelos:</u> El tipo de suelo existente en el Sistema Ambiental del proyecto, es una mezcla de diferentes tipos, entre los que se encuentran Xerosol, Regosol, Vertisol y Feozem la generación de un incendio no producirá cambios de ningún tipo en el suelo presente.</p> | <p>Ninguno</p> |
| <p><u>Hidrología superficial y subterránea:</u> El Sistema Ambiental incidirá en la Cuenca Río Tijuana, subcuenca Río Tijuana. También incidirá en el acuífero Tecate (0202), sin embargo la generación de un incendio no producirá afectaciones.</p> | <p>Ninguno</p> |



| Aspectos Bióticos | |
|--|------------------|
| <p><u>Vegetación terrestre:</u> La generación de un incendio dentro del Sistema Ambiental del proyecto, conlleva a efectos que pueden ser considerados casi nulos para la vegetación ya que el área en que se planea desarrollar el proyecto incide en la zona urbanas principalmente y sobre terrenos baldíos, mismo que aunque se encuentran individuos vegetales (hierbas y arbustos), estas no representan importancia ecológica.</p> | Reparable |
| <p><u>Fauna:</u> Las afectaciones en la fauna son mínimas en caso de generarse un incendio durante la operación de la Estación, ya que, ésta se localizará en una zona perturbada donde las actividades urbanas son constantes, lo cual ha provocado que la fauna haya sido desplazada hacia partes más alejadas por la generación de ruido y por la movilidad de los habitantes de la zona; únicamente se afectaría a las especies faunísticas que de manera remota se localicen dentro del Sistema Ambiental del proyecto, sin embargo esta probabilidad es nula dadas las condiciones ya indicadas. Aunado a lo anterior, se considera que las afectaciones a la fauna son nulas, puesto que se constató que dentro del Sistema Ambiental del proyecto no existen áreas de anidación o reproducción de fauna silvestre de importancia ecológica.</p> | Ninguno |

Tabla 4. Efectos sobre el Sistema Ambiental por la generación de una explosión.

| Aspectos Abióticos | |
|---|---|
| Componente del SA | Nivel de Impacto (Catastrófico, grave, significativo, reparable o ninguno) |
| <p><u>Clima:</u> La generación de una explosión no confinada producto de la fuga de gas natural y formación de la nube explosiva, no causará ninguna modificación en las condiciones climáticas del Sistema Ambiental del proyecto.</p> | Ninguno |
| <p><u>Geología y Geomorfología:</u> Si bien, el proyecto incide en suelo impactado por actividades urbanas, los niveles de sobrepresión generados en una explosión no confinada planteados en cada escenario de riesgo, serán lo suficientemente altos para formar un cráter en el suelo, lo cual significa que la afectación al suelo será inminente, mismo que será desplazado por la sobrepresión generada por la explosión. Ocasionando un impacto directo y puntual a las características geológicas del Sistema Ambiental del proyecto.</p> | Reparable |
| <p><u>Suelos:</u> Al igual que en la Geología, en caso de generarse una explosión no confinada producto de la fuga de gas natural, la formación de un cráter en el suelo es inminente dados los niveles de sobrepresión que serán generados (más de 300 psi), lo cual afectará directamente la integridad física del suelo, por lo que, en caso de la formación de un orificio en el suelo, este será desplazado y arrancado de su formación original. Sin embargo, esto será de manera puntual y no se propagará en todo el Sistema Ambiental. Cabe mencionar, que, aunque los efectos sean mínimos, el suelo se verá temporalmente afectado en su composición físico-química, perdiendo la propiedad de la fertilidad, principalmente.</p> | Reparable |
| <p><u>Hidrología superficial y subterránea:</u> De acuerdo a la distancia de la Estación con respecto a las fuentes de agua superficial, y a los niveles de sobrepresión en esa zona, no se causarán afectaciones hacia los cuerpos de agua, arroyos o rios que se localicen dentro del SA del proyecto; así mismo, en el caso de la hidrología subterránea, ésta no sufrirá afectaciones de ningún tipo producto de la generación de una explosión no</p> | Ninguno |



| Aspectos Abióticos | |
|---|---|
| Componente del SA | Nivel de Impacto (Catastrófico, grave, significativo, reparable o ninguno) |
| confinada. | |
| Aspectos Bióticos | |
| <u>Vegetación terrestre:</u> La generación de una explosión no confinada dentro del Sistema Ambiental del proyecto, conlleva a efectos que pueden ser considerados nulos sobre la vegetación terrestre, ya que, el proyecto se ubicará dentro de la zona urbana. | Ninguno |
| <u>Fauna:</u> Las afectaciones en la fauna son mínimas en caso de generarse una explosión durante la operación de la Estación, ya que, ésta se localizará en zonas donde la fauna ha sido desplazada hacia partes más alejadas por la generación de ruido y por existencia de actividades antrópicas e industriales, únicamente se afectaría en la disminución y/o pérdida de los refugios, cambios en la composición y distribución espacial y temporal de las especies faunísticas que de manera remota se localicen dentro del Sistema Ambiental del proyecto en el momento de que se genere la situación de riesgo, sin embargo esta probabilidad es nula dadas las condiciones ya indicadas. | Ninguno |

En el caso de los efectos sobre la salud humana producto de un chorro de fuego, es la mortalidad de las personas que se expongan a la radiación por periodos prolongados de tiempo; ya que la máxima radiación obtenida en los escenarios de simulación fue de (534.12 kW/m²), son suficiente para causar la muerte de personas si estas se exponen a la radiación por más de un minuto, sin embargo para que esto suceda, las personas deben estar contiguas al incendio, ya que a mayor distancia de la fuente de calor, la radiación tiende a disminuir. En el caso de la explosión no confinada, los valores máximos obtenidos (2,660.14 psi) son suficientes para causar la muerte instantánea en las personas que se localicen dentro de las ondas de expansión de sobrepresión de manera directa, aunque de manera indirecta se puede esperar la afectación en la integridad física de las personas por el derrumbe de casas o instalaciones civiles que se localicen dentro de los radios de afectación por sobrepresión.



INDICE

| | |
|---|---|
| III. SEÑALAMIENTO DE LAS MEDIDAS DE SEGURIDAD Y PREVENTIVAS EN MATERIA AMBIENTAL..... | 2 |
| III.1. Recomendaciones Técnico - Operativas. | 2 |
| III.1.1. Sistemas de Seguridad..... | 3 |
| III.1.2. Medidas Preventivas..... | 5 |

FIGURAS

| | |
|---|---|
| Figura 1. Ubicación de la Señalética contemplada en la Estación de Compresión Tijuana..... | 5 |
|---|---|



III. SEÑALAMIENTO DE LAS MEDIDAS DE SEGURIDAD Y PREVENTIVAS EN MATERIA AMBIENTAL.

III.1. Recomendaciones Técnico - Operativas.

Cualquier instalación que presente riesgos de accidentes mayores tendrá que disponer de recomendaciones que disminuyan los riesgos de afectación a las instalaciones de la empresa. El tipo y características de dichas medidas dependerán de los riesgos que se pretendan minimizar durante la operación de la Estación de Compresión Tijuana.

- Aplicar los procedimientos operativos conforme a los manuales, códigos y bases de diseño y asegurarse que se encuentren actualizados e integrados dentro de su Sistema de Administración de Seguridad Industrial, Seguridad Operativa y Protección al Medio Ambiente (SASISOPA).
- Capacitar al personal en la aplicación de los manuales de operación y mantenimiento.
- Tener una bitácora de la revisión diaria de las instalaciones, previo al arranque de operaciones y durante la operación de la Estación.
- Las actividades de verificación visual bajo supervisión, se deberán realizar diariamente como ya se mencionó, y al detectar alguna anomalía en la instalación, actuar correctamente con apego a los procedimientos establecidos.
- Mantenimiento preventivo del sistema de instrumentación.
- Asegurar que los recipientes de almacenamiento de Gas Natural estén protegidos contra la corrosión mediante recubrimientos anticorrosivos.
- Revisión y mantenimiento del sistema de protección catódica.
- Se deberán realizar pruebas de hermeticidad por lo menos una vez al año, para asegurar la integridad mecánica de todos los componentes y sistemas de la Estación de Gas Natural Comprimido (principalmente a los tanques de almacenamiento de los contenedores móviles).
- Asegurar que el programa de mantenimiento considere todos los equipos que serán instalados en la Estación de Compresión.
- Aplicar el programa de mantenimiento Predictivo, Preventivo y Correctivo, y llevar registros de control, con el objeto de constatar que las actividades de mantenimiento se realizan de una manera eficiente y reducir los riesgos que se puedan generar debido a fallas en componentes mecánicos, instrumentación en general, y en la integridad mecánica de la estación.
- Definir un responsable de la elaboración y ejecución del programa de mantenimiento, así como un supervisor que asegure la correcta aplicación del mismo.
- Asegurarse que el personal de seguridad, encargado de la Estación, se encuentre capacitado y sea capaz de atender cualquier anomalía en el proceso de medición, regulación y filtración, y compresión de Gas Natural, así como en el almacenamiento y despacho del mismo.
- Publicar hojas de trabajo en la instalación, en las que se especifiquen las condiciones de operación de cada uno de los equipos a instalar en la Estación.
- Elaborar y poner en práctica un programa para la calibración de los instrumentos de medición y control, así como para el mantenimiento de los mismos de acuerdo a las especificaciones del fabricante.
- Implementación de un protocolo de seguridad en caso de falta de energía eléctrica.
- Instalación de un generador como medida de emergencia ante la pérdida de energía eléctrica.
- Contar con personal operativo capacitado para la atención de emergencias.
- Elaborar el Programa para la Prevención de Accidentes (PPA), en el cual se incluyan todos los procedimientos de emergencia con los que contará la Estación de Compresión Tijuana; además donde se establezca que la empresa promotora deberá de estar en coordinación con Protección Civil municipal y estatal para la atención de cualquier emergencia que se llegue a presentar.



- Capacitar al personal en relación a la aplicación de los procedimientos operativos para realizar acciones correctivas eficientes en caso de presentarse aumentos o caídas de presión en las instalaciones, así mismo, registrar en bitácora las lecturas diarias de los parámetros de operación establecidos, temperatura y presión, principalmente.
- Se deberá realizar un simulacro mayor (por lo menos una vez al año) y otro trimestralmente, los simulacros deben de ser con diferentes escenarios, de tal manera que se asegure la eficiente capacidad de respuesta, ante una emergencia o simplemente para la ejecución de las actividades de mantenimiento, con el fin de prevenir la afectación a la instalación, debido a maniobras erróneas por parte de los operadores.
- Instalar letreros y señalamientos alusivos al peligro que representa la instalación, con el objeto de alertar a las personas que transitan por dicha zona.
- Elaborar y poner en práctica una lista de verificación que asegure la correcta operación de los equipos a instalar en la Estación de Compresión.
- Obtener el dictamen de conformidad con la NOM-010-ASEA-2016, para la Estación de Compresión (antes del inicio de operaciones) por parte de una UV acreditada y/o aprobada.

Recomendaciones conforme a la NOM-010-ASEA-2016.

- Incluir dentro del diseño los equipos electrónicos y herramientas necesarias para verificar si el sistema vehicular presenta condiciones seguras para el suministro de Gas Natural Comprimido **(Ver inciso 5.1.2.12 de la NOM)**.
- Los sistemas contraincendios deberán contar con los elementos necesarios para detectar, alarmar, controlar, mitigar y minimizar las consecuencias de fugas, incendios o explosiones del Gas Natural, el cual se debe diseñar y especificar con base en las Normas Oficiales Mexicanas **(Ver numeral 5.1.2.7 de la NOM)**.
- El sistema de compresión deberá contar con elementos que eviten la vibración de tuberías durante la succión y la descarga **(Ver inciso 5.2.3.1)**.
- Definir los dispositivos de seguridad de la Estación de Compresión, cumpliendo con el **inciso 5.3.2)**.
- Contar con un procedimiento de identificación para que el sistema de almacenamiento cuente con los datos del fabricante **(Ver inciso 5.3.3)**.
- Contar con un sistema redundante para no dejar sin protección los recipientes cuando entren a mantenimiento.
- Para facilitar la inspección y mantenimiento de tanques de almacenamiento, deberá contar con espacio suficiente y poder desmontarse.
- Dar cumplimiento a los requisitos de las estructuras, que se encuentran enlistadas en el **inciso 5.3.5** para el sistema de almacenamiento.
- Los Postes de carga deben contar con su certificado de fabricación en cumplimiento con las Normas Aplicables para la tecnología empleada, así mismo, deberán tener letreros que indiquen claramente lo citado en el **numeral 5.4.1.2**.
- Se deberá contar con dictamen de evaluación de la conformidad de la presente Norma Oficial Mexicana misma que deberá realizarse para cada una de sus etapas (en este caso; etapa de diseño), mediante la revisión documental y la verificación física de la Terminal de Carga de Módulos de almacenamiento transportables.

III.1.1. Sistemas de Seguridad.

Dentro de las medidas de seguridad durante la operación de la Estación de Compresión Tijuana se encuentran una serie de equipos, dispositivos y sistemas que permitirán la atención de cualquier situación de riesgo que se pueda presentar, mismos que a continuación se describen:



➤ **Sistema contra incendios.**

En la Estación de Compresión Tijuana se tienen contemplados 5 extintores de polvo químico seco, distribuidos en las áreas con las que se contará para el suministro de Gas Natural Comprimido. Por lo tanto, se puede concluir que se tiene cubierto el mínimo de extintores requeridos para cumplir con lo estipulado en la normatividad aplicable para la prevención de incendios, dentro del rango de capacidad indicada y con el agente extintor adecuado.

➤ **Sistema de detección de mezclas explosivas y fuego.**

En las cabinas de los compresores se cuenta con detectores de mezclas explosivas que son monitoreadas por el PLC y le permiten tomar decisiones como emitir desde una alarma sonora cuando hay presencia de gas en el entorno, activando los ventiladores para extraer los gases combustibles al ambiente, hasta dejar fuera de servicio el equipo de compresión al detectar una mezcla explosiva de alto riesgo.

➤ **Capacitación del personal en procesos críticos de operación.**

Previo a que entren en actividad, el personal será capacitado y adiestrado en los diferentes procesos y actividades llevados a cabo dentro de la Estación de Compresión, particularmente en aquellos procesos críticos de la operación que implícitamente representen un riesgo.

➤ **Plan de respuesta de emergencias.**

En el cual está capacitado el personal que operará la Estación de Compresión Tijuana y llevará a cabo en caso de un evento.

➤ **Sistema de detección de gases / ventilación.**

1. Detector de gases digital completo con cabezal sensor recambiable.
2. Ventila del ventilador activada al 20% lel (lower explosive limit - límite inferior explosivo).
3. Sistema de apagado y alarma activados al 40% LEL.
4. Paquete estándar de atenuación sonora (75 dBA a 3 m bajo condiciones de campo abierto).
5. Material de atenuación sonora en el interior de la cabina.
6. Protección con metal perforado sobre el material de atenuación en las puertas.
7. Aislamiento del skid para reducir las vibraciones de baja frecuencia.
8. Silenciadores de entrada y descarga proporcionados para enfriar el aire intercambiado.

➤ **Botones de paro de emergencia.**

1. Los paros de emergencia se encuentran localizados en diferentes puntos de la estación, como son los postes de llenado de GNC, en cada uno de los equipos de la estación de compresión equipo de compresión, panel de prioridades y cuarto eléctrico. La activación de cualquiera de estos provoca que la estación deje de comprimir y cargar gas a razón de que los equipos paran su operación por interrupción en el suministro de energía eléctrica, cerrando todas las válvulas automáticas que son operadas con gas natural.
2. A la activación de un paro de emergencia, el PLC envía la orden de cierre de válvulas y la interrupción de energía eléctrica a los arrancadores en el CCM, y manda una alarma visual y sonora indicada al tipo de alarma para su reconocimiento y valoración.
3. El PLC mantiene un registro histórico de cada alarma activada para su consulta.
4. El sistema cuenta con una unidad de respaldo de energía (UPS) para permitir que los sistemas de control de la estación se mantengan alertas.

En la **Figura 1** se muestra el Plano General de la Estación de Compresión Tijuana, donde se incluye la señalización de algunos equipos de seguridad.

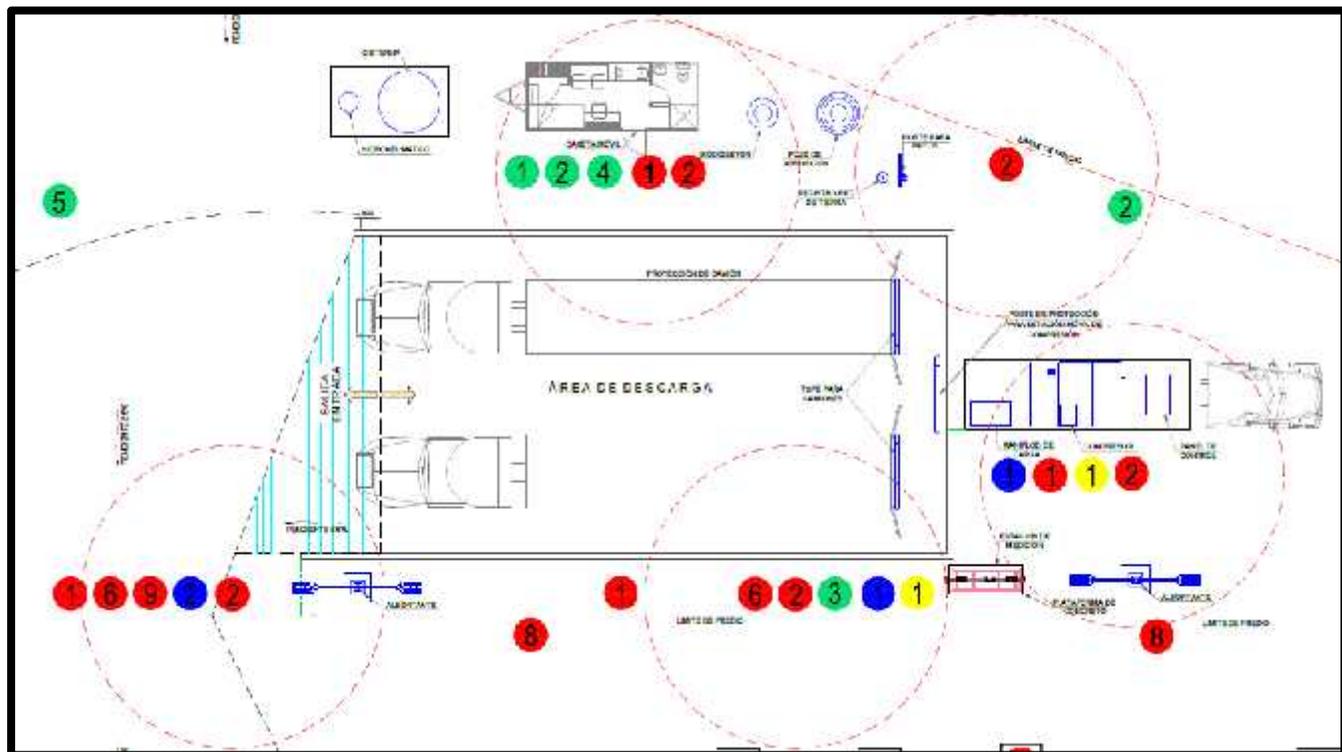


Figura 1. Ubicación de la Señalética contemplada en la Estación de Compresión Tijuana.

Para mayor detalle, Ver Anexo 1. Planos de la instalación (1.2 Señalética).

III.1.2. Medidas Preventivas.

Así mismo, como medidas preventivas y de seguridad, en la Estación de Compresión se realizarán las siguientes actividades antes y durante la operación de la misma:

| MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE SEGURIDAD |
|---|
| Se contará con un paro de emergencia en la unidad de carga (fill post), equipo de compresión, cuarto de tableros y oficinas. |
| Se contará con un programa anual de operación y mantenimiento. |
| Todos los residuos peligrosos generados durante los mantenimientos de los equipos serán confinados en un almacén temporal de residuos peligrosos. |
| Se contará con un sistema de control automatizado (PLC) el cual monitorea la operación segura del sistema. |
| Se contará con detectores de gas natural (detección de mezclas explosivas). |
| Previo inicio de operaciones se contará con las pruebas de hermeticidad correspondientes. |
| Se contará con programas de capacitación y entrenamiento (técnico y seguridad). |
| Se contará con procedimientos de emergencia. |
| Se contará con programa de simulacro para asegurar el tiempo de respuesta. |
| Se realizarán inspecciones periódicas sobre el funcionamiento de los programas de operación, mantenimiento y seguridad. |
| Se contará con el Programa para la Prevención de Accidentes. |



MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE SEGURIDAD

Se debe contar con procedimientos que proporcionen las condiciones de seguridad necesarias cuando se haya excedido los límites de diseño de operación.

- Cierre de válvulas,
- Rango de presión fuera de los límites de operación normal.

Se debe de contar con certificado de calidad del fabricante de los equipos de la estación.

Se contará con alarmas audibles y visuales cuando las condiciones de operación estén fuera de rango.

Todos los recintos deben estar protegidos de forma perimetral para permitir el acceso sólo a personal autorizado, a fin de minimizar las posibilidades de daños personales, materiales y vandalismo.



INDICE

| | |
|---|---|
| IV. RESUMEN EJECUTIVO..... | 2 |
| IV.1. Conclusiones del Estudio de Riesgo Ambiental..... | 2 |
| IV.2. Resumen de la situación general que presenta el proyecto en Materia de Riesgo Ambiental. | 2 |

TABLAS

| | |
|--|---|
| Tabla 1. Sustancias involucradas..... | 4 |
| Tabla 2. Antecedentes de accidentes e incidentes..... | 4 |
| Tabla 3. Identificación y jerarquización de riesgos ambientales. | 5 |
| Tabla 4. Estimación de consecuencias. | 7 |
| Tabla 5. Criterios utilizados..... | 7 |



IV. RESUMEN EJECUTIVO.

IV.1. Conclusiones del Estudio de Riesgo Ambiental.

El presente Estudio de Riesgo Ambiental (ERA) llevó a la conclusión de que los riesgos mayores en la Estación de Compresión Tijuana, es la ocurrencia de incendios y explosiones por la falla de equipos, válvulas o bridas, desvío en las condiciones y procedimientos de operación, facilitando que con el paso del tiempo y aunado a la falta o deficiencias en el mantenimiento preventivo, la integridad física de los mismos se deteriore llegando a provocar posibles fugas de gas natural; por lo anterior, la promovente del proyecto da a conocer las medidas de prevención y control que se instaurarán en cada área o equipo de la Estación de Compresión para reducir los riesgos existentes por eventos de incendio y explosión.

El riesgo existente en la actividad realizada (Terminal de carga de GNC) es evidente, mismo que es controlable y puede ser posible su reducción poniendo especial atención en las actividades de mantenimiento y supervisión constante en la operación de la Estación. Aunado a lo anterior, los programas de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo que se realizarán, el sistema de detección de mezclas explosivas, indicadores de presión y temperatura, alarmas y botones de paro de emergencia de la Estación, entre otros, ayudarán a anticiparse a cualquier falla mecánica o de operación que se pudiera presentar.

La verificación de la integridad mecánica y de operación de los tanques móviles, se realizará antes de entrar en operación y posteriormente con apego a la normativa, lo que asegura y reduce los riesgos por fallas en los componentes e instrumentación de los tanques de Almacenamiento de Gas Natural Comprimido.

Por lo anterior y de acuerdo a los resultados del Análisis de Riesgos, se concluye que el nivel de riesgo de la Estación de Compresión es aceptable con revisión (categorizado entre el nivel Medio y Serio), ya que si bien, de acuerdo al análisis realizado mediante HAZOP las desviaciones de mayor riesgo fueron de nivel B (categoría de riesgo: indeseable), considerando su evaluación con las salvaguardas disponibles para cada desviación, es necesario que una vez puesta en operación la Estación de Compresión, se realice la actualización del presente Estudio de Riesgo y se estructure el Programa para Prevención de Accidentes (PPA) conforme a los escenarios de riesgo resultantes, con el afán de minimizar al máximo la ocurrencia de los posibles eventos de riesgo.

IV.2. Resumen de la situación general que presenta el proyecto en Materia de Riesgo Ambiental.

El objetivo del presente proyecto es la construcción y operación de la Estación de Compresión Tijuana, la cual contará con las áreas para realizar el suministro de Gas Natural Comprimido a contenedores móviles, así mismo, contará con áreas auxiliares (servicios generales; sanitarios, facturación, cuarto eléctrico, cuarto de máquinas, entre otros), al igual que equipos para la compresión del gas natural, por lo que el predio para instalar la estación, cuenta con un área total de 1,505.89 m².

La Estación de Compresión Tijuana tendrá la capacidad de recibir el gas natural a través del gasoducto principal de 10" de Ø del permisionario Gas Natural del Noroeste, S.A. DE C.V., ubicado en el Boulevard Casa Blanca en Tijuana, donde generalmente se encuentra a presiones entre 28 a 640 psi, el gas pasa a través de la estación de filtración, regulación y medición (ERM), a la salida de la ERM el gas mantiene una presión constante sin ser afectado por el flujo o temperatura.



Un compresor del tipo pistón, reciprocante, de 3 etapas de compresión, aspira el gas natural del gasoducto y lo eleva a una presión de hasta los 4200 Psi aproximadamente, el gas debe ser comprimido, sin embargo, antes es acondicionado, lo que significa retirar una posible concentración de vapor de agua a través de un filtro coalescente/adsorbente, que es un elemento filtrante que retiene la humedad del gas.

Una vez que el gas es comprimido a una alta presión, está listo para ser enviado hacia los postes de llenado.

Los equipos de despacho llamados fill post (postes de llenado), inician el llenado primeramente enviando gas a los tanques de almacenamiento del contenedor móvil. Una vez que la presión comienza a igualarse (al igual que el flujo disminuye), el PLC compara constantemente los parámetros de presión, para continuar y concluir la carga de la unidad móvil hasta llenarlo totalmente.

En el proyecto ejecutivo en cuestión, se aplica ingeniería de punta con el objetivo de minimizar los riesgos implícitos para la realización de sus operaciones. Como resultado del análisis de riesgo, basado en la memoria técnico-descriptiva y diagrama de instrumentación (DTI) de la Estación de Compresión y de los accesorios que serán instalados, se consideraron aquellos eventos donde estuvieran involucrados los sucesos similares ocurridos en otros proyectos donde se realiza el mismo diseño y construcción de Estaciones, tomando en cuenta dicha experiencia se instalaran accesorios, tales como: válvulas, medidores, bridas y reguladores indicadores de presión y temperatura, entre otros, para la determinación de las desviaciones, causas y consecuencias de probables eventos producidos por fallas mecánicas o de operatividad con sus probables áreas de afectación.

La sustancia manejada (Gas Natural) en la Estación de Compresión Tijuana representa un riesgo de incendio y explosión debido a las propiedades fisicoquímicas del combustible, las áreas más afectadas por algún evento de riesgo indeseable estarán inmersas dentro de la estación, ya que los equipos y áreas de la misma, son las más propensas a sufrir daños, por lo que es necesario que la estación esté provista de protección contra incendios y sistemas de alarma y detección, con la finalidad de proteger al personal y las instalaciones.

En general, se consideran los siguientes sistemas de protección:

- Sistemas de detección de mezclas explosivas y fuego.
- Válvulas de seguridad calibradas para operar a una presión superior a la de operación normal.
- Alarmas audibles y sonoras.
- Indicadores y transmisores de presión y temperatura.
- Botones de paro de emergencia.



IV.3. Informe Técnico.

Tabla 1. Sustancias involucradas.

| Nombre químico de la sustancia (IUPAC) | No. CAS | Riesgo químico | | | | | Flujo máximo | Presiones de operación |
|--|---------|----------------|---|---|---|---|---|--|
| | | C | R | E | T | I | | |
| Gas Natural | 74-82-8 | | | X | | X | 8000 scfm (13,592 m ³ /h) | 45 Kg/cm ² a 295 Kg/cm ² |

C: corrosividad, R: reactividad, E: explosividad, T: toxicidad, I: inflamabilidad.

Tabla 2. Antecedentes de accidentes e incidentes.

| No. | Año | Ciudad y/o país | Instalación | Sustancias involucradas | Evento o causa del accidente | Nivel de afectación (personal, población, medio ambiente) | Acciones realizadas para su atención |
|-----|---------------------------|----------------------------------|---|-------------------------|------------------------------|---|--|
| 1 | 16 julio del 2003 | Córdoba, Argentina | Estación de Compresión ECGN | Gas natural | Explosión | Viviendas sufrieron algunos daños | La Estación fue clausurada |
| 2 | 12 de noviembre del 2012 | Xoxtla, Puebla | Estación Gas Natural Comprimido | Gas natural | Explosión e incendio | 2 personas lesionadas | Extinción y remoción del material inflamable |
| 3 | 14 de septiembre del 2016 | Av. Cordialidad con carretera 10 | Estación de Servicio Biomax | Gas Natural | Explosión | 4 muertos y 4 lesionados | La emergencia fue atendida por dos máquinas del cuerpo de bomberos y funcionarios de la secretaría distrital de Prevención y Desastres y apoyo de Gases del Caribe, que hizo el control de las válvulas a fin de que no hubiera más flujo de gas |
| 4 | 12 de diciembre 2017 | Baumgarten, Austria | N/D | Gas Natural | Explosión | 1 muerto y 18 lesionados | Atención inmediata por parte del cuerpo de bomberos del municipio (240). Suspensión de los servicios de gas |
| 5 | 02 de marzo del 2016 | Callao, Perú | Planta de Compresión de Gas Natural de Petrocorp S.A. | Gas Natural | Explosión | 1 muerto y 3 heridos graves | N/D |
| 6 | 22 de abril del 2015 | Emiliano Zapata, Veracruz | Estación de compresión | Gas Natural | Explosión | Suspensión de actividades por una hora | Evacuación de 38 empleados |

N/D: No Disponible.



Tabla 3. Identificación y jerarquización de riesgos ambientales.

| No. de falla | No. de evento | Falla | Accidente hipotético | | | | | Metodología empleada para la identificación de riesgo | Componente ambiental afectado |
|--------------|---------------|--|----------------------|---------|----------|-----------|--------------------|---|-------------------------------|
| | | | Fuga | Derrame | Incendio | Explosión | Unidad o equipo | | |
| 1 | 1.1 | Fuga de Gas Natural, a causa de falla al cerrarla válvula de aguja en el by pass. | X | N/A | X | N/A | Área de acometida | HAZOP | Aire |
| | 1.2 | Fuga de Gas Natural, a causa de falla al cerrarla válvula de aguja en el by pass. | X | N/A | N/A | X | Área de acometida | HAZOP | Suelo |
| 2 | 2.1 | Fuga de Gas Natural, en la válvula manual (HV 002) localizada a la salida de los compresores, por sobrepresión en la línea de conducción de GNC a causa del aumento de temperatura | X | N/A | X | N/A | Área de Compresión | HAZOP | Aire |
| | 2.2 | Fuga de Gas Natural, en la válvula manual (HV 002) localizada a la salida de los compresores, por sobrepresión en la línea de conducción de GNC a causa del aumento de temperatura. | X | N/A | N/A | X | Área de Compresión | HAZOP | Suelo |
| | 2.3 | Fuga de Gas Natural, en la válvula manual (HV 002) localizada a la salida de los compresores, por sobrepresión en la línea de conducción de GNC a causa del aumento de temperatura. Rotura correspondiente al 20% diametral. | X | N/A | X | N/A | Área de Compresión | HAZOP | Aire |
| | 2.4 | Fuga de Gas Natural, en la | X | N/A | N/A | X | Área de | HAZOP | Suelo |



| No. de falla | No. de evento | Falla | Accidente hipotético | | | | | Metodología empleada para la identificación de riesgo | Componente ambiental afectado |
|--------------|---------------|---|----------------------|---------|----------|-----------|----------------------------------|---|-------------------------------|
| | | | Fuga | Derrame | Incendio | Explosión | Unidad o equipo | | |
| | | válvula manual (HV 002) localizada a la salida de los compresores, por sobrepresión en la línea de conducción de GNC a causa del aumento de temperatura. Rotura correspondiente al 20% diametral. | | | | | Compresión | | |
| 3 | 3.1 | Fuga de Gas Natural, en la interconexión de la tubería de 0.75" de diámetro con la válvula check | X | N/A | X | N/A | Área de carga de GNC (fill post) | HAZOP | Aire |
| | 3.2 | Fuga de Gas Natural, en la interconexión de la tubería de 0.75" de diámetro con la válvula check | X | N/A | N/A | X | Área de carga de GNC (fill post) | HAZOP | Suelo |
| 4 | 4.1 | Fuga de Gas Natural en las mangueras del manifold a causa de la rotura de las mismas debido al movimiento inesperado del camión. | X | N/A | X | N/A | Área de carga de GNC | HAZOP | Aire |
| | 4.2 | Fuga de Gas Natural en las mangueras del manifold a causa de la rotura de las mismas debido al movimiento inesperado del camión.. | X | N/A | N/A | X | Área de carga de GNC | HAZOP | Suelo |

N/A= No aplica.



Tabla 4. Estimación de consecuencias.

| No. de Falla | No. de Evento | Tipo de liberación | | Cantidad hipotética liberada (m ³ /s, m ³ o kg) | | Estado físico | Efectos potenciales | | | | | Programa de simulación empleado | Zona de Alto Riesgo | Zona de Amortiguamiento |
|--------------|---------------|--------------------|----------|---|--------|---------------|---------------------|---|---|---|---|---------------------------------|---------------------|-------------------------|
| | | Masiva | Continua | Cantidad | Unidad | | C | G | S | R | N | | Distancia (m) | Distancia (m) |
| 1 | 1.1 | N/A | X | 0.29 | Kg/s | Gas | | | x | | | SCRI Fuego | 5.80 | 11.27 |
| | 1.2 | N/A | X | 17.40 | Kg | Gas | | | x | | | SCRI Fuego | 32.03 | 54.44 |
| 2 | 2.1 | N/A | X | 7.76 | Kg/s | Gas | | x | | | | SCRI Fuego | 30.18 | 55.68 |
| | 2.2 | N/A | X | 465.6 | Kg | Gas | x | | | | | SCRI Fuego | 95.79 | 162.84 |
| | 2.3 | N/A | X | 0.31 | Kg/s | Gas | | | x | | | SCRI Fuego | 6.35 | 11.87 |
| | 2.4 | N/A | X | 18.60 | Kg | Gas | | x | | | | SCRI Fuego | 32.75 | 55.68 |
| 3 | 3.1 | N/A | X | 7.76 | Kg/s | Gas | | x | | | | SCRI Fuego | 30.18 | 55.68 |
| | 3.2 | N/A | X | 465.6 | Kg | Gas | x | | | | | SCRI Fuego | 95.79 | 162.84 |
| 4 | 4.1 | N/A | X | 13.79 | Kg/s | Gas | | x | | | | SCRI Fuego | 39.77 | 73.35 |
| | 4.2 | N/A | X | 827.40 | Kg | Gas | x | | | | | SCRI Fuego | 116.03 | 197.23 |

N/A= No aplica.

Tabla 5. Criterios utilizados.

| No. de falla | No. de evento | Toxicidad | | | | Radiación térmica | | | Sobrepresión | | | Otros Criterios |
|--------------|---------------|-----------|-------|----------------------------|-------------------------|-------------------|---------|-------------------|--------------|-------------|----------------|-----------------|
| | | IDHL | TLV8h | Velocidad del viento (m/s) | Estabilidad atmosférica | 1.4 KW/m2 | 5 kW/m2 | 12.5 – 37.5 kW/m2 | 0.5 lb/plg2 | 1.0 lb/plg2 | 3 - 10 lb/plg2 | |
| 1 | 1.1 | N/A | N/A | 1.5 | Pasquill-C | X | X | X | N/A | N/A | N/A | N/D |
| | 1.2 | N/A | N/A | 1.5 | Pasquill-C | N/A | N/A | N/A | X | X | X | N/D |
| 2 | 2.1 | N/A | N/A | 1.5 | Pasquill-C | X | X | X | N/A | N/A | N/A | N/D |
| | 2.2 | N/A | N/A | 1.5 | Pasquill-C | N/A | N/A | N/A | X | X | X | N/D |
| | 2.3 | N/A | N/A | 1.5 | Pasquill-C | X | X | X | N/A | N/A | N/A | N/D |
| | 2.4 | N/A | N/A | 1.5 | Pasquill-C | N/A | N/A | N/A | X | X | X | N/D |
| 3 | 3.1 | N/A | N/A | 1.5 | Pasquill-C | X | X | X | N/A | N/A | N/A | N/D |



| No. de falla | No. de evento | Toxicidad | | | | Radiación térmica | | | Sobrepresión | | | Otros Criterios |
|--------------|---------------|-----------|-------|----------------------------|-------------------------|-------------------|---------|-------------------|--------------|-------------|----------------|-----------------|
| | | IDHL | TLV8h | Velocidad del viento (m/s) | Estabilidad atmosférica | 1.4 KW/m2 | 5 kW/m2 | 12.5 – 37.5 kW/m2 | 0.5 lb/plg2 | 1.0 lb/plg2 | 3 - 10 lb/plg2 | |
| | 3.2 | N/A | N/A | 1.5 | Pasquill-C | N/A | N/A | N/A | X | X | X | N/D |
| 4 | 4.1 | N/A | N/A | 1.5 | Pasquill-C | X | X | X | N/A | N/A | N/A | N/D |
| | 4.2 | N/A | N/A | 1.5 | Pasquill-C | N/A | N/A | N/A | X | X | X | N/D |

N/A= No aplica.

N/D= No disponible.



INDICE

V. IDENTIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS Y ELEMENTOS TÉCNICOS QUE SUSTENTAN LA INFORMACIÓN SEÑALADA EN EL ESTUDIO DE RIESGO AMBIENTAL. 2

| | |
|-------------------------------------|---|
| V.1. Formatos de Presentación. | 2 |
| V.1.1. Planos de Localización..... | 2 |
| V.1.2. Fotografías..... | 2 |
| V.1.3. Videos. | 2 |
| V.2. Otros Anexos. | 2 |



V. IDENTIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS Y ELEMENTOS TÉCNICOS QUE SUSTENTAN LA INFORMACIÓN SEÑALADA EN EL ESTUDIO DE RIESGO AMBIENTAL.

V.1. Formatos de Presentación.

V.1.1. Planos de Localización.

Los planos de ubicación del proyecto se incluyen en el **Anexo 1** del presente Estudio de Riesgo Ambiental.

V.1.2. Fotografías.

Las fotografías del proyecto se incluyen en el **Anexo 10**.

V.1.3. Videos.

Durante los trabajos en campo para la realización del presente Estudio de Riesgo Ambiental, no se realizaron videograbaciones de las áreas donde se localizará la Estación de Compresión.

V.2. Otros Anexos.

a) Documentos legales.

La documentación Legal se incluye en el **Anexo 2. Documentos Legales** del Manifiesto de Impacto Ambiental que acompaña al presente estudio.

b) Cartografía consultada.

La cartografía consultada fue del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) principalmente

c) Autorizaciones y permisos.

Actualmente no se cuentan con autorizaciones y permisos para el desarrollo del proyecto, sin embargo, para antes de iniciar con la etapa de preparación del sitio, se obtendrán las siguientes autorizaciones:

- En materia de Impacto y Riesgo Ambiental.
- Licencias de Uso de Suelo y de Construcción.
- Título de Permiso para la actividad realizada (Terminal de carga de GNC) por la Comisión Reguladora de Energía (CRE).

d) Memorias descriptivas de la(s) metodología(s) utilizada(s).

La descripción de las metodologías empleadas para el Análisis de Riesgo se incluye en el **Capítulo I**.



e) Memoria técnica de la(s) modelación(es).

Las memorias técnicas de las simulaciones realizadas, se incluyen en el **Anexo 8**.