

# **ESTUDIO DE RIESGO AMBIENTAL Y ANEXOS**

**GAS NATURAL POTOSINO, S.A.P.I. DE C.V.**



**Proyecto:  
"Gasoducto Villaserre"**

**Silao de la Victoria, Guanajuato.**

**ORIGINAL  
2017**

---

---

## I. Escenarios de los riesgos ambientales relacionados con el proyecto

### I.1 Descripción del Sistema de Distribución

El proyecto del sistema de distribución de gas natural por ducto denominado "**Gasoducto Villaserre**", consiste en la instalación de un ducto de 6" y 4" de diámetro nominal de acero API 5L X42, 0.188" de espesor, que se conectará al ducto de **Gasoductos Bajío, S. de R.L de C.V. (GdB)**, de 406.5 mm (16") Ø.; en el **Municipio de Silao de la Victoria, Guanajuato**. Dicho ducto dará servicio a la empresa:

- VILLASERRE, S.P.R. DE R.L. DE C.V. (en adelante **Villaserre**)

El gasoducto de 6" y 4" DN Acero API 5L X42, tendrá una longitud total aproximada de 396 metros desde la interconexión con el transportista.

El gasoducto se interconectará con el ducto principal de **GdB** de 406.5 mm (16") Ø, aproximadamente en las coordenadas Latitud 20°51'13.29"N y Longitud 101°23'11.70"O (en lo sucesivo "el punto de interconexión"); por lo cual será necesario realizar trabajos de perforación en línea viva (Hot tap).

A partir de este punto correrá una línea de 4" DN en acero al carbón especificación API 5L X42 por 16.5 metros en dirección Noreste y 1.5 metros al Noroeste para llegar a la caseta de interconexión que se encontrará en las coordenadas Latitud 20°51'13.68"N Longitud 101°23'11.01"O aproximadamente.

El ducto de 6" DN API 5L X42, que inicia a partir de la salida de la caseta de interconexión, sale en dirección Noroeste por 8 metros para continuar en dirección Oeste por 31 m, en este punto se reduce a 4" y continua en la misma dirección por 331 m y luego en dirección Sur por 8 m para conectarse con la caseta de usuario **Villaserre**. Aproximadamente en el km 000+041 el gasoducto cruza el ducto transporte de **GdB**. Todo el ducto está alojado en propiedad de **Villaserre**.

El proyecto se ubica dentro de los terrenos de la empresa **Villaserre** en el **Municipio de Silao de la Victoria**. No afecta áreas naturales protegidas o con vegetación forestal, bosques, selvas, ecosistemas costeros o de humedales, desiertos, sistemas ribereños, lagunares ni áreas consideradas como zonas de refugio y de reproducción de especies migratorias.

El gas a ser distribuido será adquirido a **Gasoductos Bajío, S. de R.L.**, por lo que cumplirá con los requisitos de la **NOM-001-SECRE-2010** Calidad del gas natural.

El gasoducto a construir tendrá una capacidad de distribución de diseño máxima de **89,341 m<sup>3</sup> Std/día (3'155,000 pies<sup>3</sup> Std/día)** considerando la EMR de interconexión y el ducto a construir. En el punto de interconexión del ducto será necesario realizar trabajos de perforación en línea viva (hot-tap).

La interconexión con el gasoducto de **16"** de **GdB** se realizará dentro del predio de **Vilaserre** en las coordenadas geográficas **20°51' 13.30" N 101°23'11.67" O**, misma que contará en el punto de interconexión con un registro cerrado que dará protección a la válvula con maneral de operación que será enterrada, se construirán muros de celosía, malla ciclónica y se instalarán postes de acero en caso de requerirse.

A la válvula se conectarán aproximadamente 14.5 m de tubería (de interconexión) de acero al carbón de 6" de diámetro nominal API 5L X42, de 0.188" de espesor de pared, para llegar a la estación de medición y regulación (EMR), donde se reducirá la presión a 350 psig (21.09 kg/cm<sup>2</sup>) y se adicionará odorizante (mercaptano) al gas natural. La EMR se ubicará en el predio del usuario (**Vilaserre**).

Se instalará una caseta de medición y regulación en el predio del usuario (**Vilaserre**), apegándose a las distancias de seguridad que marca la Norma Oficial Mexicana **NOM-003- SECRE-2011** con respecto a otras instalaciones. La caseta será diseñada de acuerdo al consumo del usuario.

Se seleccionará el equipo de regulación adecuado para el usuario, de acuerdo a su consumo y requerimiento de presión. En la caseta de regulación del usuario se reducirá la presión de acuerdo a lo requerido por los equipos de combustión. La presión podría requerir ser ajustada de acuerdo con variaciones en los requerimientos finales del usuario, así como en diferentes etapas de la operación

La presión requerida por los equipos de combustión del usuario del gasoducto **Vilaserre** es la siguiente:

**Vilaserre: 30 psig**

Para la construcción, operación y mantenimiento del gasoducto **Villaserre** de 4" y 6" de diámetro nominal, será necesaria una franja de desarrollo (antes derecho de vía) temporal de 6 metros de ancho durante la etapa de construcción, y de 0.5 metros para el derecho de vía (DDV) del punto de interconexión a la caseta del cliente.

El derecho de vía por el cual cruzara el trazo el gasoducto **Villaserre**, corresponde al DDV de **GdB** de 406.5 mm (16") Ø. El trazo del gasoducto no cruza por algún servicio de agua potable, de teléfono o fibra óptica.

El área total del trayecto del ducto, considerando una franja de desarrollo temporal en la etapa de construcción de 6 m en promedio, es de 2,364 m<sup>2</sup>. Una vez terminados los trabajos de construcción, la franja de desarrollo permanente será de 0.5 m en el DDV, con lo que el área se reducirá a 197 m<sup>2</sup>. ↴

2197 m<sup>2</sup>.

Para la caseta de medición y regulación que se instalarán en el interior del predio del usuario, se requiere de una superficie de aproximadamente 60 m<sup>2</sup>.

Para la caseta de interconexión que se instalara dentro del predio del usuario, se requiere de una superficie aproximada de 250 m<sup>2</sup>.

Para la superficie del registro de interconexión que se instalará en el interior del predio del usuario. Se requiere de una superficie de aproximadamente 30m<sup>2</sup>.

#### **Descripción de instalación:**

Después de realizar el sondeo correspondiente y de descubrir la tubería del gasoducto de **16"** existente de **GdB**, se procederá a llevar a cabo los trabajos de interconexión por medio de un hot tap; posteriormente se instalará una junta monoblock para aislar la protección catódica del gasoducto de **GdB** (corriente directa inducida) de la protección catódica que aplicará Gas natural potosino al ducto que se pretende instalar. La responsabilidad de **GdB** terminará en la válvula de corte por instalar en el punto de interconexión. A partir de este punto, el ducto de gas natural y sus casetas serán responsabilidad de **Gas Natural Potosino**. El gasoducto estará conformado por dos elementos principales:

- **Casetas de medición y regulación**
- **Ducto**

En el caso tanto de la estación de medición y regulación del punto de interconexión, como de las casetas de medición y regulación a construir en la empresa, se requerirá de preparar el terreno mediante nivelación, debido a las características naturales del mismo, además será necesario hacer una compactación y colocación de una cama de grava para evitar el crecimiento de malezas; de ser el caso, se incluirá colar un firme de concreto para asentar la estructura, dependiendo de las condiciones del suelo donde se ubiquen las casetas.

## Registro de concreto y casetas de medición y regulación

Tanto el gasoducto, la estación de medición y regulación, como la caseta de medición y regulación de gas natural para el usuario, se construirán de acuerdo con lo establecido en la Norma Oficial Mexicana **NOM-003-SECRE-2011**.

La preparación del terreno de la estación de medición y regulación y el registro de concreto en el punto de interconexión, así como para la caseta de usuario, consistirá básicamente en la realización de las siguientes actividades: Limpieza, desmonte, despalme y nivelación.

### Ducto

Para el caso del gasoducto, la obra civil requerida para la preparación del terreno consistirá en marcar la trayectoria que tendrá el ducto, realizar trabajos de despalme y limpieza, y posteriormente en la etapa de construcción llevar a cabo la apertura de una zanja.

#### • Levantamiento topográfico:

En esta actividad se deberá tener un conocimiento pleno de la sensibilidad del área al trazar el tendido del ducto.

#### • Marcaje del trazo:

Esta fase consiste en marcar el trazado del ducto sobre el terreno con la ayuda de topógrafos y personal especializado. Se utilizan estacas en algunos tramos y se marca el trazo mediante una línea de cal en polvo. Se realizaran actividades primarias de trazo y nivelación del terreno con apoyo de equipo topográfico, estableciendo ejes de referencia con puentes de madera, cal e hilo



### Registro de concreto y válvula de corte

La construcción del registro de concreto en el punto de interconexión, se encontrará sobre el derecho de vía del gasoducto de **GdB**.

En el punto de interconexión con el gasoducto de **GdB**, se instalará una válvula de corte mediante un hot tap dentro de un registro de concreto con barda perimetral de protección de 3 x 3 m, para protección de la válvula de corte y para evitar que la válvula se opere indebidamente. Para ello, se procederá a excavar hasta dejar totalmente al descubierto el gasoducto de 16" de GdB. Se realizará a la profundidad en que se encuentre el ducto, dejando un área de trabajo mínima de por lo menos 16 m<sup>2</sup> para permitir maniobrar al personal encargado de realizar los trabajos de soldadura e interconexión.

El registro de concreto que albergará la válvula de corte, ocupará una superficie a aproximadamente 30 m<sup>2</sup> y se encontrará ubicado sobre el derecho de vía del gasoducto de **GdB**.

### Estaciones o casetas de medición y regulación de gas natural

El proyecto del "Gasoducto Villaserre" contará con dos tipos de casetas principales:

- Caseta de filtración, medición, regulación y odorización en el punto de interconexión
- Caseta de regulación del usuario

Debido a las características del proyecto, las casetas de medición únicamente requerirán nivelación del terreno, compactación y colocación de una cama de grava. En algunos casos se requiere además colar un firme de concreto para asentar la estructura.

Las estaciones o casetas de medición y regulación de gas natural se construirán de acuerdo con las disposiciones establecidas en la Norma Oficial Mexicana **NOM-003-SECRE-2011**.

Las estaciones reguladoras de presión estarán equipadas con **válvulas de bloqueo** antes y después de los reguladores. De igual forma, se instalarán manómetros después de las estaciones de regulación reductoras de presión en todo el sistema.

La instalación del gasoducto de distribución de gas natural contará con cuatro actividades principales:

- 1) La construcción de un registro con muros de celosía en el punto de interconexión con el gasoducto de 16" de diámetro de **GdB**.
- 2) La construcción de una estación de medición y regulación en el punto de interconexión.
- 3) La instalación de un gasoducto de 4" y 6" de acero al carbón con una longitud de 396 m.
- 4) La caseta de medición y regulación a instalar en la planta del usuario **Villaserre**

### Estación de Medición y Regulación principal

La estación de medición y regulación contará con una válvula de seccionamiento **Slam-Shut** en la tubería de alimentación, un filtro separador de partículas de hasta 1 micrón antes del cabezal de medición y regulación, líneas de desvío (by-pass) para mantenimiento sin necesidad de interrumpir el suministro de gas, reguladores de presión instalados en monitor, dispositivos de seguridad para protegerla de cualquier sobrepresión, y válvulas de bloqueo en las conexiones para la instalación de instrumentos. Además, contará con reguladores en monitor como medio principal de protección y con una válvula de seguridad para desfogar a la atmósfera, marca Mercer, diseñada para que se prolongue el venteo hasta una altura de que permita dispersar el gas natural sin que presente riesgos al personal o a las instalaciones.

En lo que se refiere al equipo de medición de flujo, cumplirá con las especificaciones técnicas para computadores de Gas Natural Potosino. La caseta será alimentada por medio de una acometida eléctrica de 110 volts y contará con transmisión satelital conectada al computador de flujo, para tener acceso a distancia a las lecturas de flujo y presión del gas, que son parte del sistema **SCADA**.

Los componentes principales de la estación de medición y regulación son los siguientes:

- Válvula de corte automático Slam-Shut OSE BM 2" ANSI 600
- Válvula de corte principal válvula de bola 2" ANSI 600 Puerto Reducido KF
- Filtro conby-pass FCV-2-6-1480-324
- Computador de flujo con comunicación remota Scada Pack 350 por definir
- Medidor de flujo G65, turbina G 100 ANSI 600.
- Reguladores EZR 2"x1
- Válvula de alivio Mercer 2" MNPT H2" FMNP
- Odorizador 215.46 l

### Caseta de Medición y Regulación del usuario

La caseta de regulación del usuario de gas que estará instalada en el interior del predio de la empresa **Villaserre**, contará con filtro con by pass, medidores, reguladores, válvula de seguridad y válvulas manuales de bloqueo, y en ellas tendrá lugar la segunda reducción de presión del sistema.

La caseta de regulación contará con juntas aislantes tipo micarta en las bridas ubicadas a la entrada y salida de la misma, que permitirán aislar el voltaje de protección catódica que se aplica a la caseta (y al resto del ducto) con respecto a la tubería de la red interna del usuario.

La construcción de la caseta de medición y regulación del usuario requerirá trabajos de compactación y la instalación de una pequeña plancha de concreto sobre la cual se asentará la estructura de la caseta de medición.

El alcance de construcción y de responsabilidad de Gas natural potosino termina en la brida que unirá el ducto con la brida de interconexión del sistema de gas interno de la empresa contratante (red de aprovechamiento), aguas abajo de la caseta de medición y regulación.

El gasoducto para la empresa **Villaserre** tendrá una capacidad de flujo máxima de 89,341 m<sup>3</sup> Std/día (3'155,000 pies<sup>3</sup> Std/día) aproximadamente, operando a 350 psig (2,413.2 kPa), y a una temperatura de operación de 60°F.

El tipo de caseta a instalar, así como el equipo a utilizar, puede variar dependiendo de los requerimientos de volumen del usuario, pero los componentes principales son:

- Válvula de corte principal (válvula de bola 2" AC de acero soldable ANSI 300)
- Filtro con by-pass (2" ANSI 300)
- Medidor de flujo Rotatorio 7M1480
- Reguladores Fisher 2" 99 orificio 7/8"
- Válvula de alivio (de seguridad Mercer Entrada 2" NPT x2")

## 1.2 Bases de diseño

Las bases de diseño se encuentran en el **Anexo No.6 Otros**.

La empresa se compromete a transportar sus residuos peligrosos bajo las condiciones previstas en el **Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos** y en las **Normas Oficiales Mexicanas** correspondientes.

La empresa cumplirá en todo momento con lo establecido en la **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente** y la **Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos**, así como con las **Normas Oficiales Mexicanas** aplicables en materia ecológica y de salud.

Las normas que serán utilizadas y aplicadas para el desarrollo del proyecto "**Gasoducto Villaserre**" son las siguientes:

### Normas de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

NORMA OFICIAL MEXICANA	TÍTULO
NOM-041-SEMARNAT-2015	Que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.
NOM-044-SEMARNAT-2006	Que establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales, hidrocarburos no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas y opacidad de humo provenientes del escape de motores nuevos que usan diésel como combustible y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores nuevos con peso bruto vehicular mayor de 3,857 kilogramos, así como para unidades nuevas con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kilogramos equipadas con este tipo de motores
NOM-045-SEMARNAT-2006	Protección ambiental. - Vehículos en circulación que usan diésel como combustible.- Límites máximos permisibles de opacidad, procedimiento de prueba y características técnicas del equipo de medición.
NOM-047-SEMARNAT-2014	Establece las características del equipo y el procedimiento de medición, para la verificación de los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes provenientes de los vehículos automotores en circulación equipados con motores que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles

**GAS NATURAL POTOSINO, S.A.P.I. DE C.V.**

Bosque de Alisos No. 47-A Col. Bosques de las Lomas, México, D.F. C.P. 05120

Tel. 50-00-51-00

Proyecto: "Gasoducto Villaserre"

	alternos, es de observancia obligatoria para los responsables de los Centros de Verificación o Unidades de Verificación Vehicular autorizados, proveedores de equipos de verificación, de insumos y laboratorios de calibración.
<b>NOM-052-SEMARNAT-2005</b>	Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.
<b>NOM-059-SEMARNAT-2010</b>	Determina las especies y Subespecies de Flora y Fauna Silvestres Terrestres y Acuáticas en Peligro de Extinción, Amenazadas, Raras y las Sujetas a Protección Especial y que Establece Especificaciones para su Protección.
<b>NOM-080-SEMARNAT-1994</b>	Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido proveniente del escape de los vehículos automotores, motocicletas y triciclos motorizados en circulación, y su método de medición.
<b>NOM-081-SEMARNAT-1994 3/12/2013 Modificación del numeral 5.4 de la NOM-081-SEMARNAT-1994</b>	Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición.
<b>NOM-117-SEMARNAT-2006</b>	El objetivo es establecer las especificaciones de protección al ambiente durante las actividades de instalación, mantenimiento mayor y abandono, de los sistemas para la conducción de hidrocarburos y petroquímicos en estado líquido y gaseoso, a los que se refieren los artículos 3o. y 4o. de la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo, que se realicen en derechos de vía existentes, ubicados en zonas agrícolas, ganaderas y eriales.

**Normas de la Comisión Reguladora de Energía**

<b>NORMA OFICIAL MEXICANA</b>	<b>TÍTULO</b>
<b>NOM-001-SECRE-2010</b>	Especificaciones que debe cumplir el gas natural que se maneje en los sistemas de transporte, almacenamiento y distribución de gas natural, para preservar la seguridad de las personas, medio ambiente e instalaciones de los permisionarios y de los usuarios.
<b>NOM-002-SECRE-2010</b>	Instalaciones de aprovechamiento de gas natural.
<b>NOM-003-SECRE-2011</b> 12/09/2013 FÉ DE ERRATAS	Distribución de gas natural y gas licuado de petróleo por ductos.
Norma Oficial Mexicana de Emergencia <b>NOM-EM-006-CRE-2015</b>	Especificaciones de calidad de los petroquímicos.
<b>NOM-007-SECRE-2010</b>	especificaciones técnicas y los requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir los sistemas de transporte de gas natural por medio de ductos.

**Normas de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social**

<b>NORMA OFICIAL MEXICANA</b>	<b>TÍTULO</b>
<b>NOM-002-STPS-2010</b>	Condiciones de seguridad-Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo.
<b>NOM-004-STPS-1999</b>	Establecer las condiciones de seguridad y los sistemas de protección y dispositivos para prevenir y proteger a los trabajadores contra los riesgos de trabajo que genere la operación y mantenimiento de la maquinaria y equipo.

**GAS NATURAL POTOSINO, S.A.P.I. DE C.V.**

Bosque de Alisos No. 47-A Col. Bosques de las Lomas, México, D.F. C.P. 05120  
Tel. 50-00-51-00

Proyecto: "Gasoducto Villaserra"

<b>NOM-005-STPS-1998</b>	Manejo, transporte y almacenamiento de sustancias peligrosas
<b>NOM-006-STPS-2014</b>	Manejo y almacenamiento de materiales. - Condiciones de seguridad y salud en el trabajo.
<b>NOM-016-STPS-1993</b>	Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo referente a ventilación.
<b>NOM-017-STPS-2008</b>	Equipo de protección personal-Selección, uso y manejo en los centros de trabajo.
<b>NOM-018-STPS-2015</b>	Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo
<b>NOM-026-STPS-2008</b>	Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.
<b>NOM-028-STPS-2012</b>	Establecer los elementos de un sistema de administración para organizar la seguridad en los procesos y equipos críticos que manejen sustancias químicas peligrosas, a fin de prevenir accidentes mayores y proteger de daños a las personas, a los centros de trabajo y a su entorno.
<b>NOM-031-STPS-2011</b>	Establecer las condiciones de seguridad y salud en el trabajo en las obras de construcción, a efecto de prevenir los riesgos laborales a que están expuestos los trabajadores que se desempeñan en ellas
<b>NOM-100-STPS-1994</b>	Seguridad-Extintores contra incendio a base de polvo químico seco con presión contenida-Especificaciones.

**Normas del Instituto Americano del Petróleo**

<b>NORMA</b>	<b>TÍTULO</b>
<b>API RP 5A5</b>	Práctica recomendada para la inspección en campo de nuevas tuberías de perforación, tuberías y tuberías de perforación, industrias de petróleo y gas natural - Inspección de campo de tuberías y tuberías nuevas.
<b>API RP 5C5</b>	Práctica recomendada para procedimientos de prueba de conexiones de tuberías y tuberías.
<b>API Spec 6D</b>	Especificación para válvulas de tuberías, industrias de petróleo y gas natural - Sistemas de transporte de tuberías - Válvulas de tuberías.
<b>API Std 598</b>	Estándar para Inspección y Prueba de Válvulas.
<b>API Std 602</b>	Estándar para puertas de acero, globo y válvulas de retención para tamaños DN 100 y menor para las industrias de petróleo y gas natural.
<b>API-STD-1104</b>	Estándar para la soldadura de ductos y sus instalaciones.
<b>API-PR-1102</b>	Práctica recomendada para tuberías de acero que atraviesan ferrocarriles y carreteras.
<b>API RP 574</b>	Práctica recomendada para las prácticas de inspección de los componentes del sistema de tuberías.

**Normas de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME/ANSI)**

NORMA	TÍTULO
ASME/ANSI B.31.8	Sistema de tubería para el transporte y distribución de gas.
ASME B31.2	Tubería de gas combustible.
ASME-B-16.5	ASME B16.5: Bridas de tubo y bridas NPS 1/2 a NPS 24 Metric / pulgada Estándar-Revisión de ASME B16.5-1996.
ASME-B-16.9	Accesorios de fábrica de acero forjado para soldar a tope.
ASME-B-16.11	Accesorios de acero forjado, soldadura y roscados.
ASME-B-16.20	Juntas Metálicas para Bridas de Tuberías Anillo-Junta, modificación 07/21/2000.
ASME-B-18.2.2	Tuercas cuadradas y hexagonales.
ASME/ANSI-B.16.9	Accesorios para soldadura a tope fabricado de acero forjado.

**Normas de la Sociedad Americana de Materiales y Pruebas (ASTM)**

NORMA	TÍTULO
ASTM-A-105	Forja de acero al carbón, para componentes de tuberías.
A105 / A105M-98	Especificación estándar para las forjaduras de acero al carbono para aplicaciones de tuberías.
A181 / A181M-95b	Especificación estándar para las piezas de forja de acero al carbono, para tuberías de uso general.
ASTM-A-194	Tuercas para espárragos, de acero de aleación para servicio de alta presión y alta temperatura.
ASTM-A-193	Material para atornillado en aleaciones y acero al carbón para servicio de alta temperatura.
ADS AS, 178	Especificación de electrodos para soldadura de arco.
A381-96	Especificación estándar para tubería de acero soldada con arco metálico para uso con sistemas de transmisión de alta presión.
A334 / A334M-99	Especificación estándar para tubos de acero inoxidable y carbono sin soldadura y soldados para servicio a baja temperatura.
A350 / A350M-99	Especificación estándar para piezas de forja de acero al carbono y baja aleación, que requieren ensayos de dureza de muesca para componentes de tubería.
A420 / A420M-99	Especificación estándar para accesorios de tubería de acero al carbono forjado y acero aleado para servicio a baja temperatura.
D-2683-98	Especificación estándar para accesorios de polietileno de zócalo para tubos y tuberías de polietileno de diámetro exterior controlado.
D3261-97	Especificación estándar para polietileno (PE) de fusión de calor a tope. Accesorios de plástico para polietileno (PE) tubería y tubería de plástico.
D2513-99a	Especificación estándar para tubería de presión de gas termoplástico, tubería y accesorios.

Además de las Normas Oficiales Mexicanas, también se aplicarán criterios nacionales e internacionales como los siguientes:

**Especificaciones Generales de PEMEX que aplican al proyecto, hasta que ASEA publique nuevas normas o indique que no se empleen.**

ESPECIFICACIÓN	TÍTULO
NRF-001-PEMEX-2013	Tubería de acero para recolección, transporte y distribución de hidrocarburos.
CID-NOR-N-SI-001 (antes 07.3.13) de PEMEX	Requisitos mínimos de seguridad para el diseño, construcción, operación, mantenimiento e inspección de tuberías de transporte.
3.374.08	Normas para construcción de obras públicas en sistemas de tuberías de transporte y distribución de gas.
03.0.02	Derechos de vía de los sistemas de transporte de fluidos.

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEDE-2012, INSTALACIONES ELECTRICAS (UTILIZACION).**

**Norma Técnica Ambiental NTA-IEG-003/2001**

Establece los requisitos para el manejo de los residuos industriales no peligrosos, mediante las siguientes operaciones: 1) separación en sitio, 2) identificación, 3) acopio interno, 4) almacenamiento temporal, 5) transporte externo, 6) tratamiento y 7) disposición final.

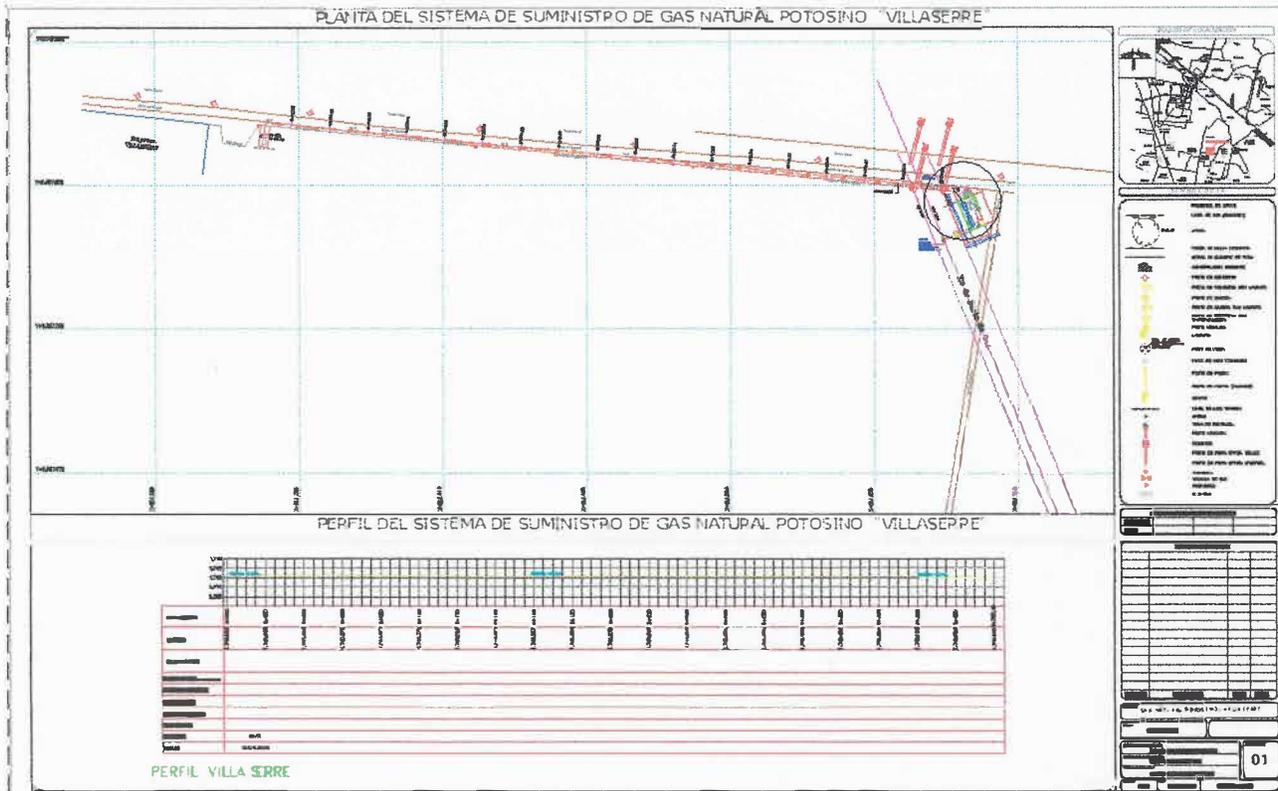
**Norma Técnica Ambiental NTA-IEG-006/2002**

Establece los requisitos que deben cumplir y la información que deben contener las manifestaciones de impacto ambiental y los estudios de riesgo en sus diferentes modalidades en el Estado de Guanajuato.

Se contarán con los certificados de calidad los cuales serán proporcionados por el proveedor de los materiales.

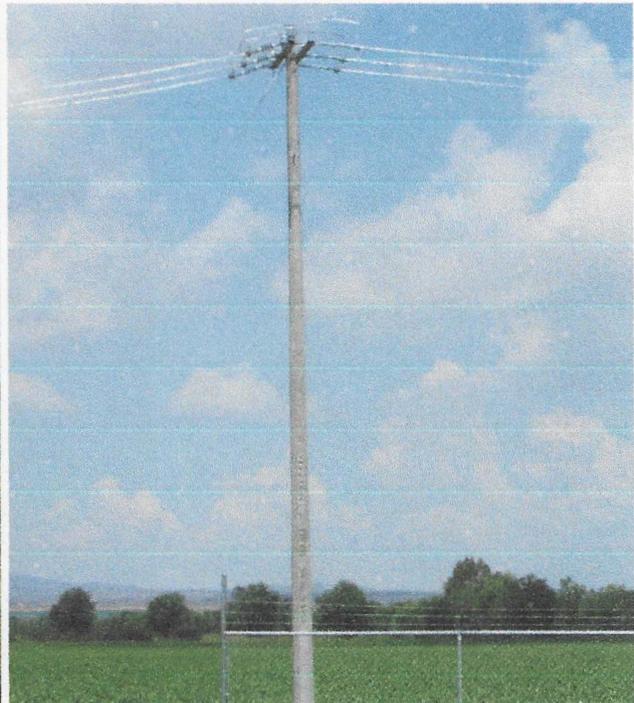
El límite de tolerancia a la corrosión será de 0.0625", los procedimientos de corrosión y recubrimientos se incluyen en el **Apartado I.4.2**

### Trazo topográfico y perfil del Gasoducto Villaserre

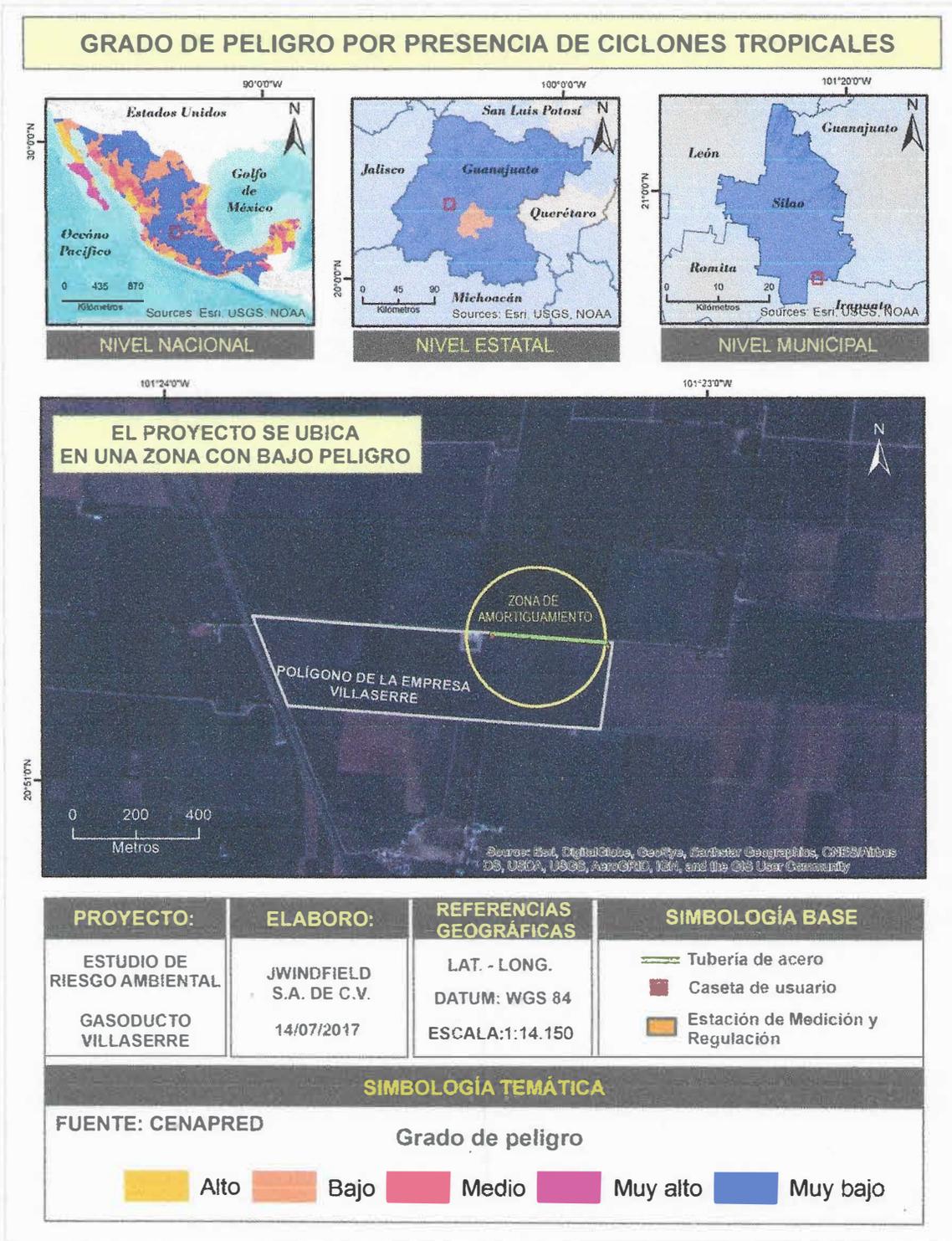


Debido a que el proyecto se ubicará en el predio de la empresa **Villaserre** en una zona **agrícola** no se detectaron asentamientos humanos que pudieran verse afectados por la construcción y operación del proyecto, la localidad más cercana al sitio es **Pozo de Gallegos** la cual se encuentra a **770 metros** al Sur de la **EMR de interconexión**.

En el sitio en donde se pretende realizar la construcción del proyecto "Gasoducto Villaserre" se identifico como vulnerable debido a su existencia el **Gasoducto del Bajío de 16"** y la **Línea de luz** ubicada a un costado del predio de la empresa **Villaserre**, sin embargo debido a las medidas de prevención con las que cuenta **Gas Natural Potosino**, además de que el proyecto se encontrará en el predio de la empresa **Villaserre**, se considera muy baja la posibilidad de presentarse un accidente por la construcción y operación del proyecto.

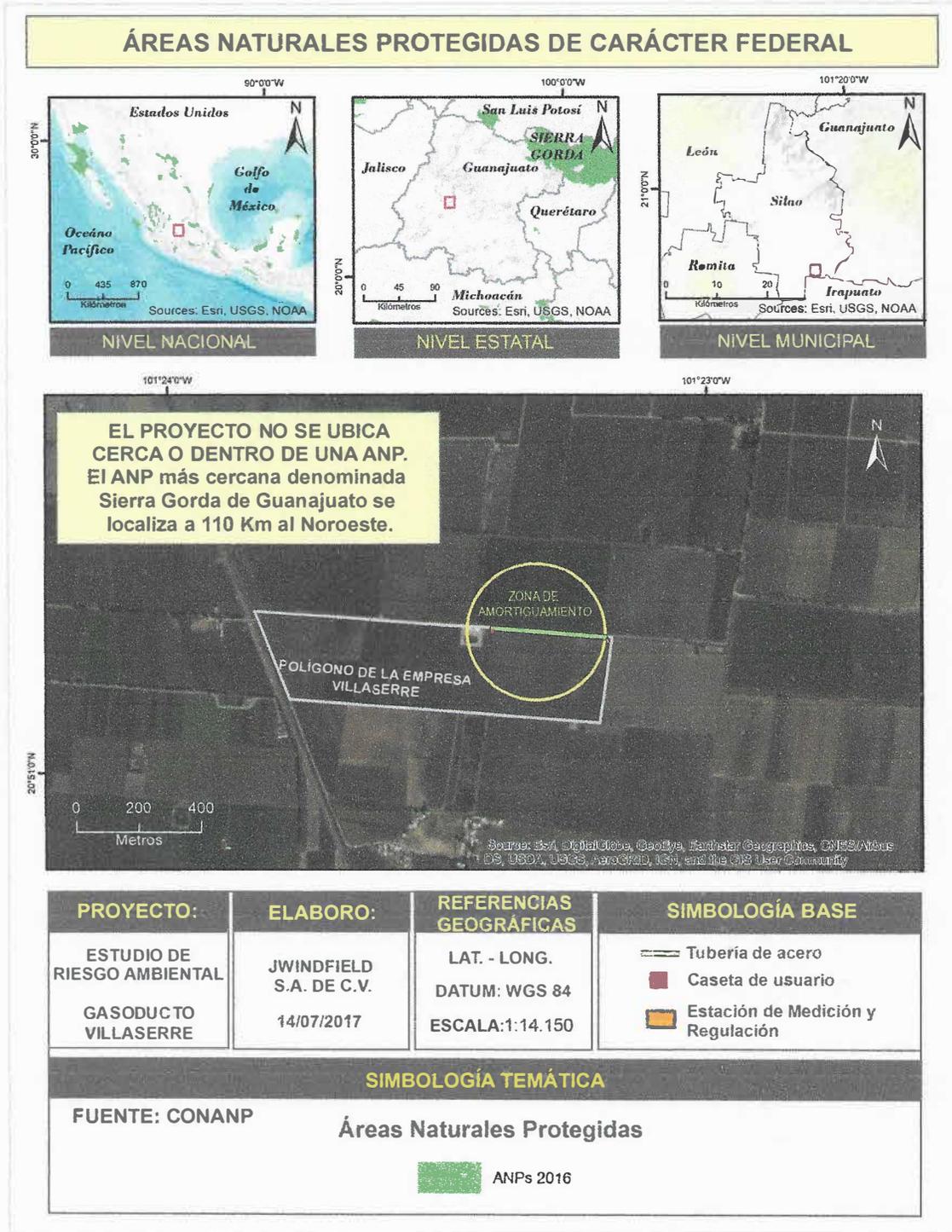


Considerando la longitud de la **zona de amortiguamiento** más grande (**222.2 metros**) resultado de las modelaciones, que para el presente proyecto corresponde al **Caso 4 Fuego por pluma o Nube de Gas Inflamable (Estabilidad B)**, el sitio del proyecto se encuentra en una zona de **Bajo Peligro** por la presencia de ciclones tropicales de acuerdo con los datos obtenidos de **CENAPRED**.



**Mapa de grado de peligro por la presencia de ciclones tropicales.**

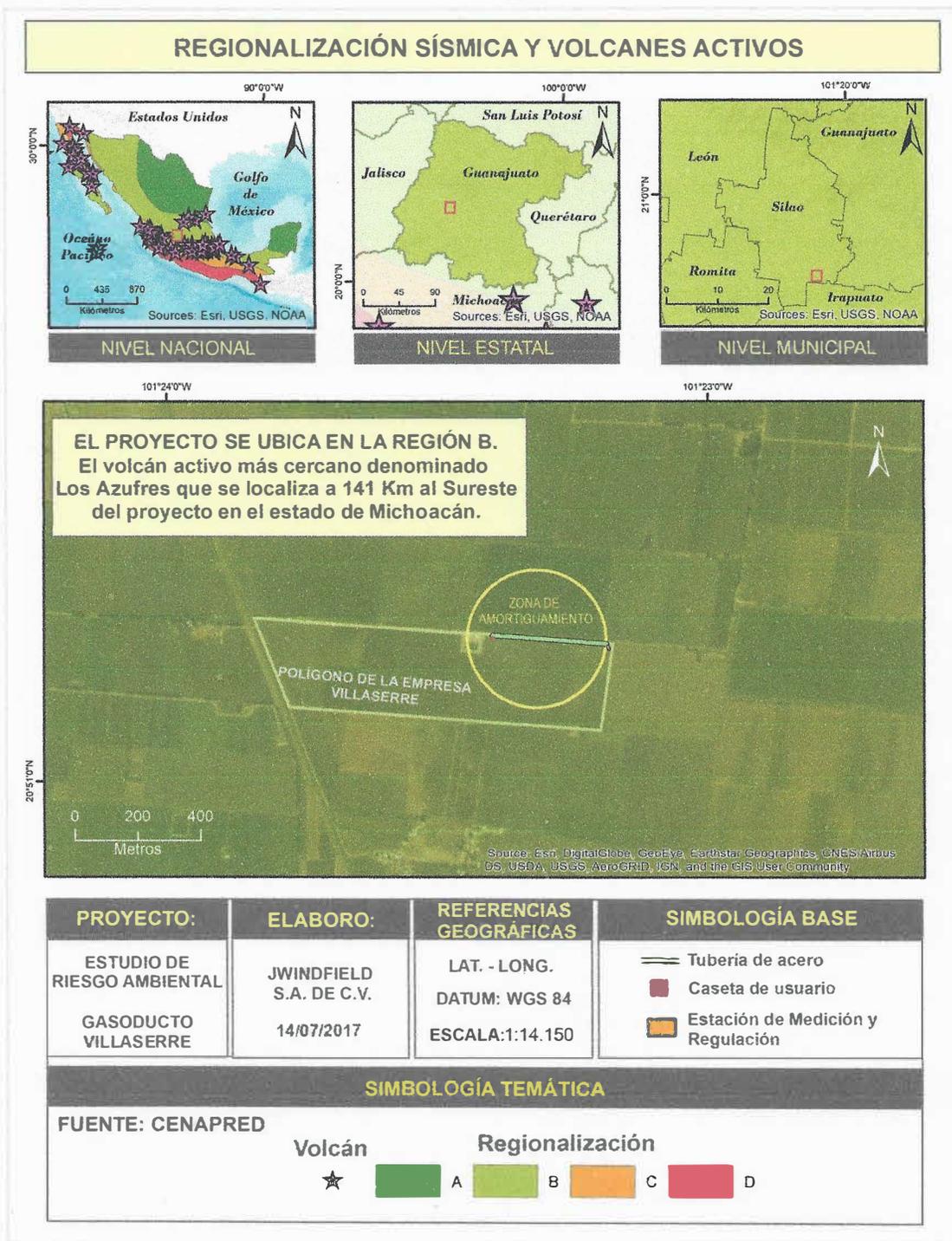
Considerando la longitud de la **zona de amortiguamiento** más grande (**222.2 metros**) resultado de las modelaciones, que para el presente proyecto corresponde al **Caso 4 Fuego por pluma o Nube de Gas Inflamable (Estabilidad B)**, en el sitio del proyecto no se encuentran **Áreas Naturales Protegidas de carácter federal**, la más cercana se encuentra a **110 km al Noreste** denominada **Sierra Gorda de Guanajuato**.



**Mapa de Áreas Naturales Protegidas de Carácter Federal.**

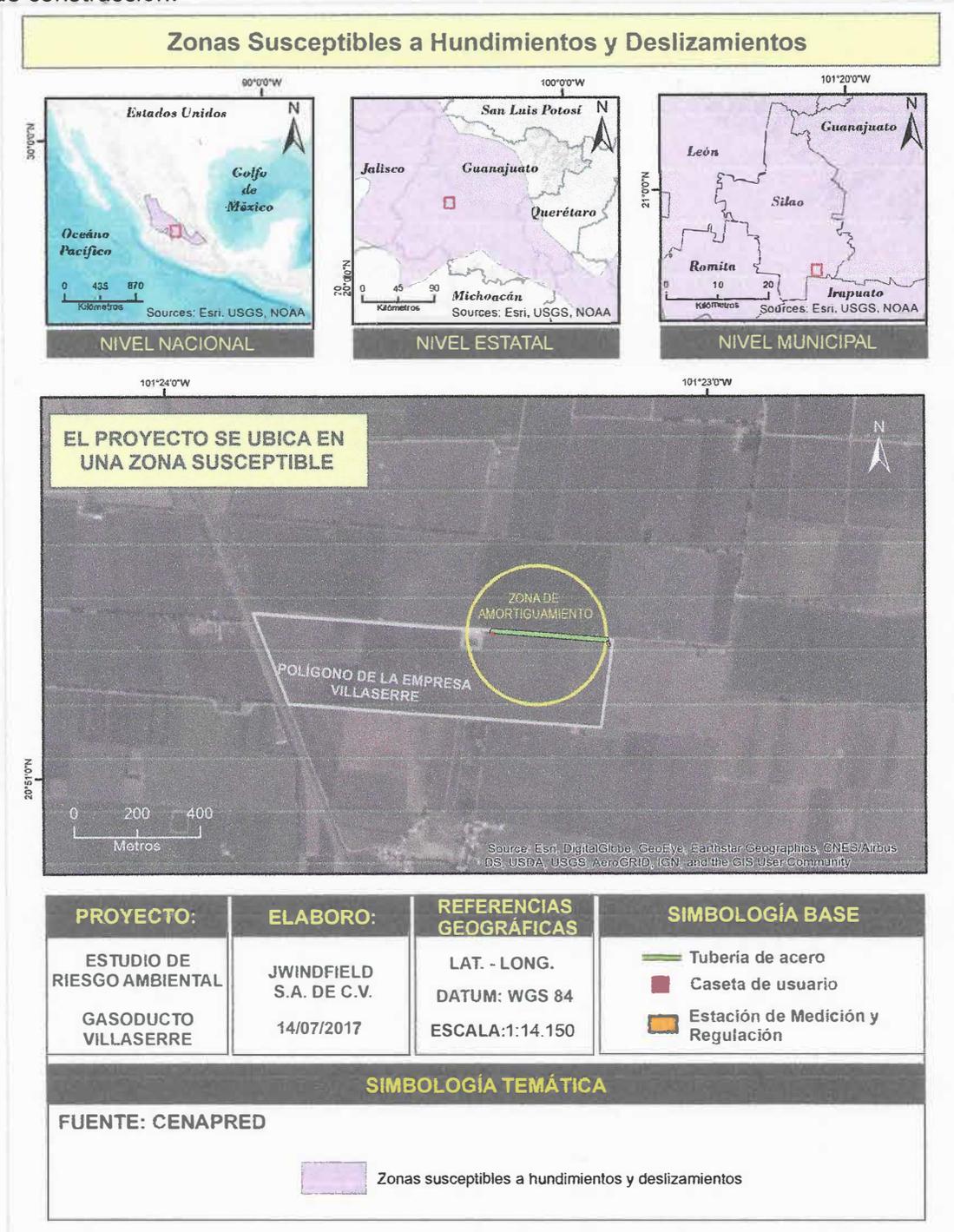


En el sitio del proyecto así como en la **zona de amortiguamiento** más grande (222.2 metros) resultado de las modelaciones, que para el presente proyecto corresponde al **Caso 4 Fuego por pluma o Nube de Gas Inflamable (Estabilidad B)**, no se encuentran **Volcanes activos**, el volcán más cercano se denominado **Loz Azufres** y se localiza a **141 km al Sureste**. El proyecto "Gasoducto Villaserre" se localiza dentro de la **Región Sísmica B**.



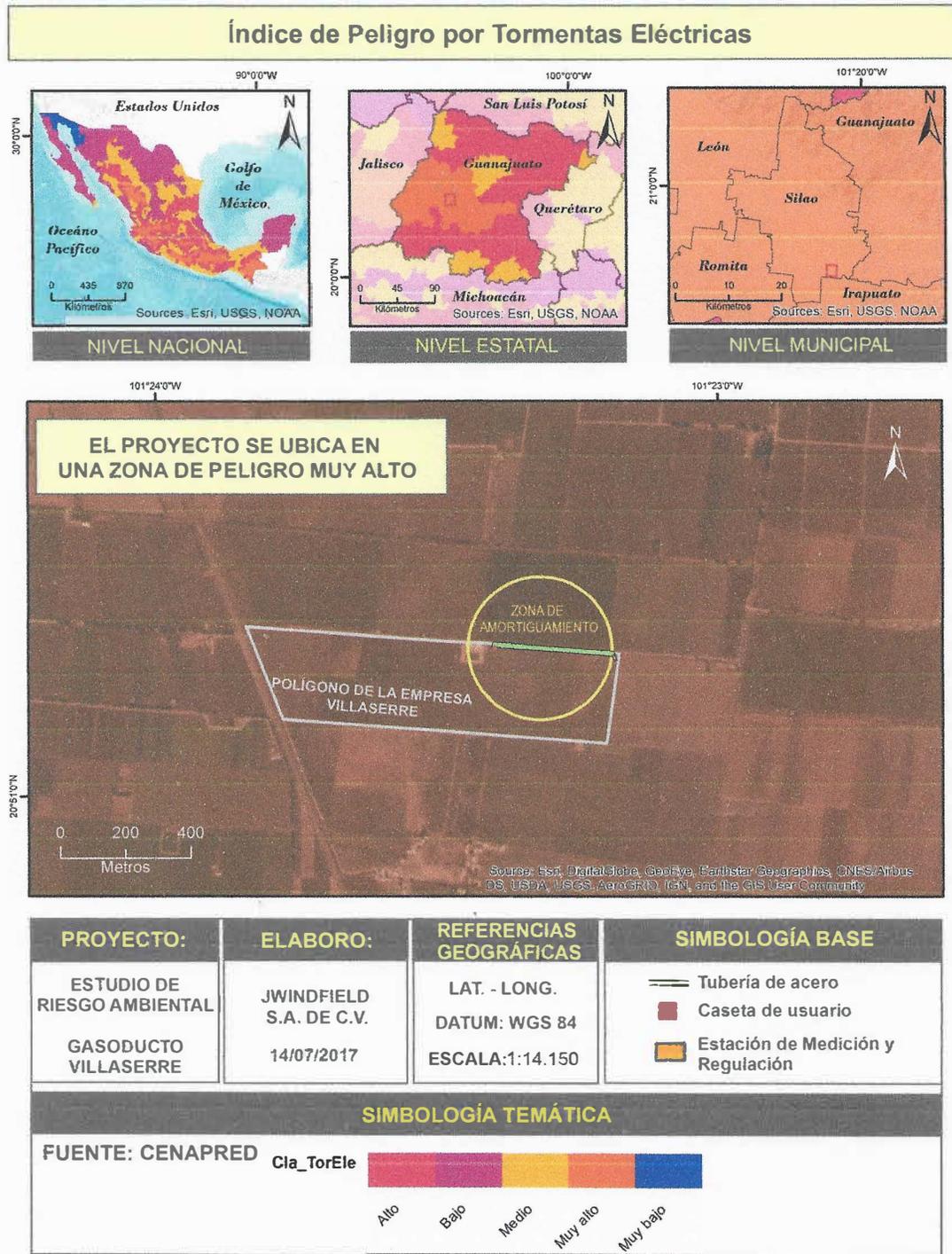
**Mapa de Regionalización Sísmica y Volcanes Activos.**

De acuerdo con **CENAPRED** el sitio del proyecto así como en la **zona de amortiguamiento** más grande (**222.2 metros**) resultado de las modelaciones, que para el presente proyecto corresponde al **Caso 4 Fuego por pluma o Nube de Gas Inflamable (Estabilidad B)**, se encuentra en una zona susceptible a hundimientos y deslizamientos, sin embargo durante el proceso constructivo no se verá afectado el proyecto debido a la metodología que empleará **Gas Natural Potosino** durante la etapa de construcción.



**Mapa de Zonas susceptibles a hundimiento y dezlizamiento.**

De acuerdo con **CENAPRED** el sitio del proyecto así como en la **zona de amortiguamiento** más grande (**222.2 metros**) resultado de las modelaciones, que para el presente proyecto corresponde al **Caso 4 Fuego por pluma o Nube de Gas Inflamable (Estabilidad B)**, se encuentra en una zona considerada como **Zona de Peligro muy Alto**, sin embargo el proyecto no se verá afectado debido a que **Gas Natural Potosino** realizará la **Protección Catódica** en la tubería de acero de 4" y 6".



**Mapa de Índice de Peligro por Tormentas Eléctricas.**

### I.3 Hojas de seguridad

En el **Anexo 5** se presenta la hoja de datos de seguridad del gas natural de acuerdo al formato (NOM-018-STPS-2000 Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo), elaborada por **Pemex Gas y Petroquímica Básica**.

### I.4 Condiciones de operación

#### I.4.1 Operación

El gasoducto para la empresa **Villaserre** tendrá una capacidad de flujo máxima de 89,341 m<sup>3</sup> Std/día (3'155,000 pies<sup>3</sup> Std/día) aproximadamente, operando a 350 psig (2,413.2 kPa), y a una temperatura de operación de 60°F. La presión se reducirá en la Caseta del usuario **Villaserre**, de 350 a 30 psia.

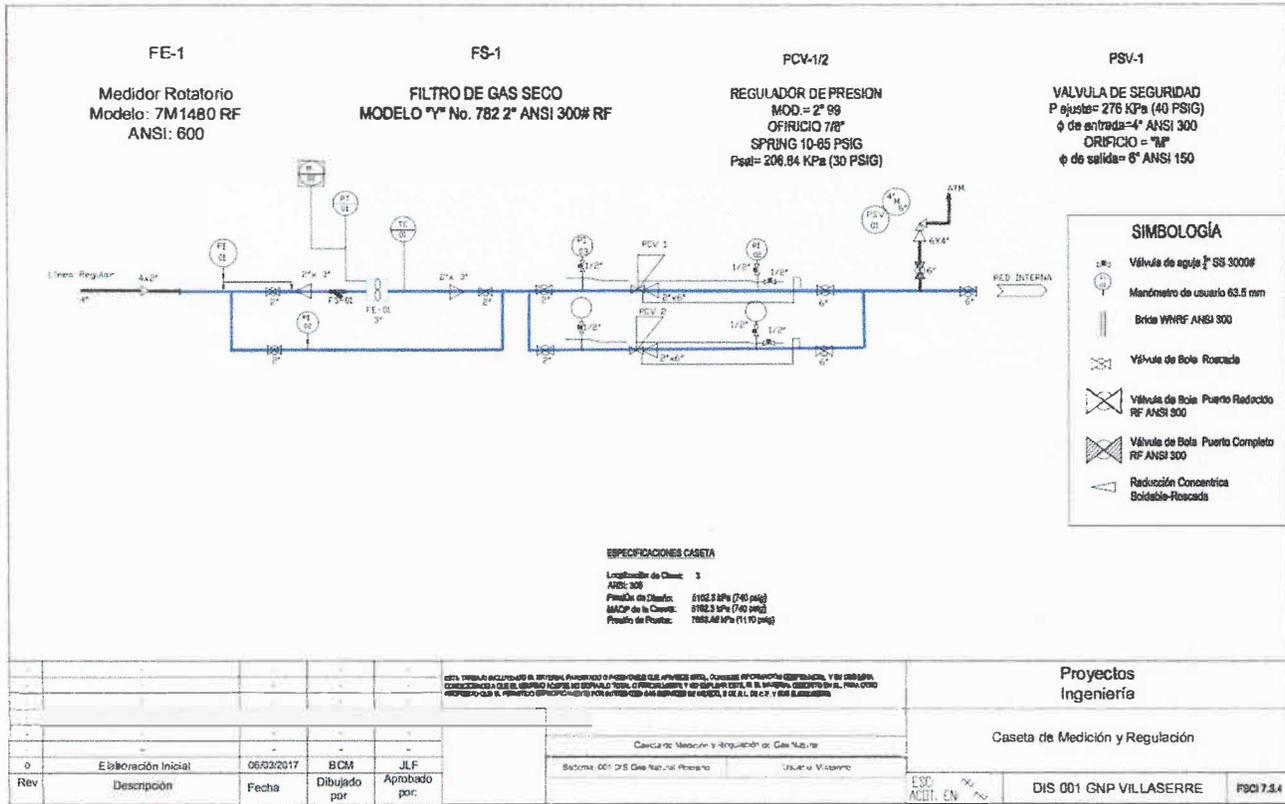
El gas a ser distribuido deberá cumplir con los requisitos de la **NOM-001-SECRE-2010**, publicada el 19 de marzo de 2010.

El usuario, consumirá gas natural a lo largo de las 24 horas del día, durante los 365 días del año en forma consistente, por lo que la demanda de gas será la que se enlista en la tabla siguiente:

**Características de diseño del gasoducto**

Parámetro	Sistema Internacional	Unidades Inglesas
Capacidad de diseño del sistema	89,341 m <sup>3</sup> /día std	3'155,000 pie <sup>3</sup> Std/día
<b>Ducto de Acero</b>		
Máxima Presión permisible de operación (Presión de diseño) de la interconexión	8,274 kPa	1,200 psig
Presión de operación de la interconexión	3,516.4 kPa	510 psig
<b>Ducto de Acero</b>		
Máxima Presión permisible de operación (Presión de diseño)	5,102.3 kPa	740 psig
Presión de operación	2,413.2 kPa	350 psig
Clase de localización (Diseño)	3	3
Clase de localización (Operación)	3	3
<b>Condiciones Base</b>		
Factor de eficiencia del flujo	0.92	0.92
Temperatura Base	288.5 K	60 °F
Presión base	1.0 atm	14.7 psig

**Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI's).**



DTI's Villaserre interconexión

**1.4.2 Pruebas de verificación**

**Pruebas de hermeticidad.**- Una vez concluidos los trabajos de la tubería, se realiza la prueba de hermeticidad con aire a presión. Toda la tubería para distribución de hidrocarburos gaseosos se probará herméticamente (hidrostática o neumáticamente) antes de entrar en operación.

**Prueba hidrostática.**- Esta prueba consiste en presurizar la tubería en tramos, llenándolos con agua a una presión como mínimo 1.5 veces superior (para Clase 3), la que deberá soportar cuando empiece a circular el gas, para verificar su resistencia y comprobar que no existe ninguna fuga.

A toda la tubería se le realizarán las pruebas hidrostáticas. La prueba de hermeticidad puede ser con agua o gas inerte (nitrógeno). Los métodos y requerimientos para las pruebas de presión hidrostática deberán cumplir como mínimo con lo establecido en la norma **NOM-003-SECRE-2011**

El agua a utilizar deberá ser neutra y libre de partículas en suspensión que no pasen por una malla de 100 hilos por pulgada. Por tratarse de tubería nueva que nunca ha estado en contacto con ningún tipo de producto químico, el agua utilizada en la prueba hidrostática no requiere de ningún tipo de tratamiento, por lo que es práctica común a nivel internacional darle la disposición que se desee (disponerla en cuerpos de agua, utilizarla para riego, etc.), ya que no se modifican sus características fisicoquímicas originales durante la prueba.

Otro aspecto a tener en cuenta es la carga y descarga del agua en la tubería durante la prueba cuando es tomada y devuelta a cuerpos de agua. En ese caso se deberá controlar la erosión ante la fuerza de descarga, para lo cual deben diseñarse amortiguadores de energía del fluido y tener en cuenta que el máximo caudal que puede ser extraído del cuerpo de agua es el 10 % del mismo, etc.

La prueba de hermeticidad puede ser con agua o gas inerte (nitrógeno). La limitante es que se hace a 1 800 psig en tubería de acero (1.5 veces la presión de diseño del ducto en cada tipo de material). No se permite el empleo de gas natural como medio de prueba.

La resistencia hidrostática y la prueba de fugas deberán incluir:

- Llenar la sección de prueba con agua.
- Efectuar la prueba de resistencia a la presión especificada.

Investigar cualquier fuga o ruptura y hacer la reparación o los reemplazos necesarios.

- Registrar los datos de prueba.
- Desplazamiento y desecho del agua de prueba.
- Secar la línea por medio de corrida de diablos.
- Efectuar las uniones de las secciones examinadas.

**Protección contra la corrosión.** - Todo el ducto de acero, así como la tubería aérea tanto de la estación de medición y regulación del punto de interconexión como de la caseta de medición y regulación del usuario, se protegerán con un primario y acabado adecuados para el ambiente de la zona. La caseta es prefabricada y será pintada en la planta del fabricante. Se instalarán ánodos de magnesio preempacados de **32 libras** para proteger la tubería de acero que queda subterránea.

La protección que se instalará para evitar la corrosión de la **tubería de acero** y de las tuberías expuestas en el área de las casetas de medición y regulación será de dos tipos: mecánica y catódica.

**Protección mecánica:** Para el control de corrosión externa, la tubería cuenta con un recubrimiento epóxico, cumpliendo con las especificaciones de la Asociación Nacional de Aplicadores de Recubrimientos de Tubería (National Associated of Pipe Coating Applicators, NAPCA) y será realizado en planta del fabricante; sólo se cubrirán en el sitio los accesorios y las soldaduras de campo.

La protección que se instalará para evitar la corrosión de las tuberías expuestas en el área de la caseta de medición y regulación será **mecánica**

**Protección catódica:** La protección catódica es el procedimiento electroquímico para proteger las estructuras metálicas enterradas o sumergidas contra la corrosión exterior, el cual consiste en establecer una diferencia de potencial para que convierta a las estructuras metálicas en cátodo mediante el paso de corriente directaproveniente del sistema seleccionado.

Existen dos tipos de sistemas de protección catódica, los cuales pueden emplearse en forma individual o combinada:

- a) **Ánodos galvánicos o de sacrificio**
- b) **Corriente impresa**

Para el proyecto del "**Gasoducto Villaserre**", se protegerá el ducto de acero desde la interconexión con el ducto de **GdB de 16"**, hasta la caseta del usuario utilizando ánodos de sacrificio de magnesio de alta potencia y **32 libras** de peso, con una distancia entre cada uno de **180 metros** aproximadamente; enterrados a un costado del ducto en la interconexión, a la salida de la caseta de interconexión y a la entrada de la caseta del usuario, de acuerdo con los cálculos a realizar conforme al "Pipe Line Rules of Thumb Handbook".

La fuente de corriente de este sistema utiliza la diferencia de potencial de oxidación entre el material del ánodo y la tubería. La protección de las tuberías se produce a consecuencia de la corriente que drena el ánodo durante su consumo. Toda la protección catódica se realizará de acuerdo a la norma **NOM-003-SECRE-2011**.

Se instalarán aproximadamente **3 estaciones de prueba** de tipo autoportado (una en la interconexión, y dos a lo largo del ducto), protegidos para servicio de intemperie e identificados adecuadamente, para lecturas periódicas de voltaje (potencial tubo/suelo), mediante cables eléctricos de medición, para verificar la eficiencia de la protección catódica, al inicio y al final del ducto o cuando el ducto se encuentre en sitios donde el riesgo de corrosión o daños es alto, como por ejemplo cruces de autopistas, vías férreas, etc.

Dichos cables eléctricos para medición serán fijados directamente sobre la tubería, empleando un proceso de soldadura por aluminotermia y recubriendo el punto de conexión con la tubería mediante material aislante eléctrico compatible con la protección mecánica y con el aislamiento del alambre. Las conexiones eléctricas de las estaciones de prueba o de registro de potencial se colocarán sobre la estructura del poste de señalamiento.

La medición de corriente en sistemas de ánodos galvánicos, se realiza utilizando un amperímetro de alta ganancia. Todas las soldaduras a la tubería de acero se realizan por aluminotermia (soldadura Cadwell).

La protección que se instalará para evitar la corrosión de las tuberías expuestas en el área de las casetas de medición y regulación será mecánica.

Todas las soldaduras de protección catódica, deben realizarse con el método Cadwell. En el caso de uniones de cables, estas se hacen trenzando los cables y sellando la unión con soldadura 60/40. Se recomienda el uso de selladores termofundentes para las uniones. Debe verificarse la instalación de las juntas aislantes tipo Micarta a la entrada y salida de la estación de interconexión.

Por último, se instalarán juntas aislantes tipo Micarta en las bridas a la entrada y salida de la caseta de medición del usuario, y antes de la válvula roja a la salida de las mismas, para aislar eléctricamente la tubería de la protección catódica que aplique cada usuario a su red interna.

Control de la corrosión. - Dentro del programa de mantenimiento, mensualmente se revisará el estado de la pintura de las casetas de medición y regulación de los usuarios y se realizará la limpieza o reparación de las mismas conforme a dicho programa. La medición de los potenciales de protección catódica (P/S) se hacen al menos una vez al año, para verificar que los niveles sean adecuados.



*Instalación del sistema de protección contra la corrosión en el gasoducto*

Con el fin de proteger a la tubería de acero contra la corrosión, se tiene previsto brindar protección catódica y mecánica en el caso de las tuberías subterráneas, protección mecánica mediante recubrimientos para las tuberías superficiales y la máxima eliminación de los elementos corrosivos en el gas, con el fin de prevenir la corrosión interior de las tuberías.

Para el control de la corrosión externa, la tubería estará recubierta con un recubrimiento epóxico, de acuerdo a lo establecido en los estándares de la Asociación Nacional de Aplicadores de Recubrimientos de Tubería (National Associated of Pipe Coating Applicators) y será realizado en planta del fabricante, cubriéndose en el sitio solamente los accesorios y las soldaduras de campo.

El contratista será responsable de la aplicación de los recubrimientos protectores del tubo (o juntas realizadas en el campo, cuando el tubo está recubierto de fábrica), accesorios y las secciones de tubo arriba del nivel de piso, así como de la reparación previa a la instalación.

El tubo no requiere recubrimiento interno. En cuanto a protección mecánica, la tubería viene recubierta de fábrica con recubrimiento epóxico; sólo se cubrirán en el sitio los accesorios y las soldaduras de campo.

El recubrimiento de la tubería de acero es epóxico, sólo las uniones son con cinta. Para la protección mecánica se aplicará un sistema de cintas de polietileno marca Poliken, consistente en la aplicación de un Primer 1027 por medios manuales con brocha de pelo, a razón de 0.3 l/m. Para iniciar la aplicación de la cinta Poliken, el recubrimiento debe estar seco y pegajoso al toque; enseguida se aplicará manualmente o con equipo una cinta de polietileno de alta densidad anticorrosiva 980-15 color negro de 3" de ancho, embobinada con un traslape del 50%; como protección final se aplicará una cinta de polietileno de mediana densidad 955-15 de 3" de ancho color blanca, usando los mismos métodos y traslape de la anterior, ambas con un espesor de 15 mm cada una, resultando un espesor final de 30 mm; la vuelta final de cinta debe aplicarse a mano, sin tensión. El ángulo espiral de aplicación debe ser uniforme, sin giros o torsión. La vuelta de esta envoltura exterior nunca debe ser aplicada directamente sobre el tope de la vuelta interna.

Se utilizarán 2 rollos de cinta Poliken 980-15 y 2 l de Primer 1027 por cada kilómetro de tubería. Se requerirá de una capa de primario y una cubierta de cinta en cada unión por soldadura, así como en puntos de la tubería donde se hubiese dañado el recubrimiento (Figura II-27). El contratista será responsable de la aplicación de los recubrimientos protectores del tubo, accesorios y las secciones de tubo arriba del nivel de piso, así como de la reparación previa a la instalación.



*Recubrimiento externo de la tubería del gasoducto*

**Prueba radiográfica.**- En cumplimiento a lo dispuesto en la norma **NOM-003-SECRE-2011** inciso 11.1, se realizará el radiografiado en la caseta del usuario, en la estación de medición y regulación, así como a lo largo del ducto de gas natural desde la interconexión, de la siguiente manera:

- 100% de las soldaduras en los cuadros de medición/regulación
- 100% en la interconexión con el gasoducto de GdB
- 100% en gasoducto de acero en Clase 3

**Pruebas no destructivas:** Los soldadores serán calificados por medio de pruebas no destructivas (radiografiado) de acuerdo a lo establecido en la especificación API Standard 1104.

En el caso del punto de interconexión con el gasoducto de **GdB**, de la estación de medición y regulación, así como en la caseta de medición y regulación del usuario y a todo lo largo del ducto, las soldaduras serán 100% radiografiadas.

Las pruebas no destructivas en soldaduras se realizarán de acuerdo con procedimientos escritos y por personas capacitadas y calificadas en la aplicación de los procedimientos, así como en el manejo del equipo utilizado en las pruebas. Se realizará la prueba de líquidos penetrantes en el cople que se coloca a la llegada de la caseta.

### **1.5 Procedimientos y Medidas de Seguridad**

Las medidas de seguridad se ubican en el **Apartado III**

### **1.6 Análisis y Evaluación de Riesgo**

Desde el punto de vista del análisis ambiental, riesgo es la posibilidad de sufrir un daño o pérdida, y esta posibilidad ocurre durante casi cualquier actividad humana. El daño o pérdida es una consecuencia adversa potencial de un evento peligroso. El riesgo de un evento define la probabilidad combinada de éste y la gravedad de sus consecuencias potenciales. Los riesgos no siempre pueden ser evitados, pero sí pueden ser minimizados.

En el caso de un **gasoducto** que distribuye **gas natural**, los riesgos son diversos, y se pueden dividir en varios niveles:

- Fugas de gas natural.
- Incendio o conato de incendio.
- Explosión.

Estos son los principales riesgos potenciales que pueden afectar directa o indirectamente los factores ambientales y la población.

El análisis y evaluación de riesgo requirió la aplicación de una técnica cualitativa de identificación de riesgos (metodología HazOp), una metodología de jerarquización (Matriz de Jerarquización de Riesgo), y una técnica cuantitativa de simulación (software ARCHIE).

La **metodología HazOp** proporciona una visión general del proyecto, y nos da una idea de los puntos que pueden desencadenar situaciones de riesgo en la operación; esta se basa en el empleo de una serie de palabras guías, que al combinarse con parámetros de proceso, muestran la posible presencia de un riesgo ambiental (como una fuga, un incendio y/o una explosión), que puedan afectar al personal, al ambiente o a las instalaciones. De esta forma identifica los riesgos asociados con la operación del sistema, investigando las desviaciones posibles del sistema a partir de su operación normal.

Una vez identificados los riesgos, se procede a realizar una jerarquización de los mismos por medio del uso de una técnica semicuantitativa de riesgo llamada **Matriz de Jerarquización de Riesgo** (CCPs, 1995), o **Índice Global de Riesgo**, donde por medio de una matriz de frecuencia contra consecuencia se obtiene un índice de todos los riesgos a los que está sujeta la instalación.

Una vez identificados y jerarquizados estos riesgos, se simulan en forma matemática por medio del software ARCHIE (**Automated Resource for Chemical Hazard Incident Evaluation**), versión 1.0 de Microsoft Corp. 1982-1986; este Software ha sido aceptado por OSHA y USEPA.

### **I.6.1 Antecedentes de accidentes e incidentes**

A partir de eventos tan importantes como los accidentes ocurridos los últimos años; en México, la explosión de gas L.P. en San Juanico y en Guadalajara el siniestro ocurrido el 22 de abril de 1992, la ciudadanía y el gobierno de México, adquirieron una nueva perspectiva del cuidado con el que deben manejarse productos que, si bien son indispensables para la vida moderna, pueden representar un peligro potencial para las personas y sus bienes cuando no se respetan las normas de seguridad y las reglas básicas para su almacenamiento, distribución y aprovechamiento.

A medida que la tecnología ha aumentado, así también ha avanzado el riesgo asociado con esta. Los problemas ambientales derivados de la tecnología guardan relación estrecha con la seguridad, puesto que raras son las veces en que en las consecuencias ambientales, sociales y económicas, no haya implícitas cuestiones de esta índole.

Sin embargo, se debe tomar en cuenta el desordenado crecimiento de la población y la mala ubicación de los asentamientos que se ha tenido durante los últimos 20 años en la región.

**PEMEX** lleva una estadística de las fugas que se han presentado en los diferentes tipos de instalación por Distrito. Por ejemplo, para gasoductos en el Distrito Reynosa se reportaron 14 fugas durante el período enero-agosto 1996, siendo los meses de junio y julio los que presentaron una mayor cantidad de éstas (3), las cuales fueron principalmente por corrosión externa e interna.

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

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

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

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

Cabe mencionar que actualmente se tienen en funcionamiento cientos de gasoductos de este tipo tanto en México como en los Estados Unidos de Norteamérica y otros países, desde 1960 a la fecha, y los antecedentes de explosiones o incendios que se tienen en ellos realmente son mínimos, dado que la tecnología que se maneja cuenta con dispositivos de seguridad adecuados. Sin embargo, no podemos perder de vista el error humano e incluso los riesgos tecnológicos que en algún momento pudieran darse. Para mayor información consultar el **Anexo No. 5 Información Básica sobre el Gas Natural**.

Las fugas de gas son los eventos de riesgo más frecuentes en este tipo de instalaciones y las causas más comunes que los producen son las siguientes:

- Corrosión interna o externa en la tubería.
- Mala calidad de los materiales de construcción.
- Deficiencias en los procedimientos constructivos como soldadura eléctrica, protección catódica, recubrimiento exterior y pruebas de aceptación (radiográfica e hidrostática), entre otras.
- Deficiencia en el mantenimiento preventivo de las instalaciones superficiales.
- Ocupación indebida del derecho de vía (en el caso del gasoducto).

De entre las causas mencionadas y de acuerdo a las estadísticas publicadas por *European Pipeline Incident Data Group*, en el cual se muestran las frecuencias de fugas en tuberías por 10,000 Km. por año, la mayor, es un **orificio pequeño** de diámetros equivalentes entre 3.17 mm (**0.125"**) y 12.7 mm (**0.5"**); similarmente un **orificio mediano** es mayor a 12.7 mm (**0.5"**) y hasta 38.1 mm (**1.5"**) y la **ruptura** a partir de un diámetro equivalente a 38.1 mm (**1.5"**) y hasta la **ruptura total del ducto**; los datos se muestran en la siguiente tabla:

Fugas reportadas por *European Pipeline Incident* (Europa)

EVENTOS DE RIESGO EN INSTALACIONES Y CAUSAS QUE LO PRODUCEN					
CAUSA	FRECUENCIA POR 10 000 Km POR AÑO				( % )
	ORIFICIO PEQUEÑO	ORIFICIO MEDIANO	RUPTURA	TOTAL	
Interferencias externas	0,70	1,70	0,50	2,90	50,43
Defectos de construcción	0,70	0,30	0,10	1,10	19,13
Corrosión	0,80	0,02	0,00	0,82	14,26
Movimientos de tierra	0,10	0,12	0,12	0,34	5,91
Error en un interconexión	0,20	0,06	0,00	0,26	4,52
Otros	0,30	0,06	0,00	0,33	5,75
<b>TOTAL</b>	<b>2,80</b>	<b>2,23</b>	<b>0,72</b>	<b>5,75</b>	<b>100,00</b>

De acuerdo a las estadísticas proporcionadas por la O.P.S. (Office Of Pipeline Safety) acerca de líneas de ductos en operación de gas natural, del año 1984 a 1996 la suma de incidentes por año y sus causas se muestran en la siguiente tabla:

Accidentes reportados por fugas, fuente la O.P.S.

AÑO	NO. DE ACCIDENTES	MUERTES	ACCIDENTES	DAÑOS A PROPIEDAD \$ USD
84	203	12	57	3 956 642
85	205	22	96	9 470 452
86	142	29	104	11 078 800
87	164	11	115	11 786 125
88	201	23	114	12 131 436
89	177	20	91	8 675 816
90	109	6	52	7 594 040
91	162	14	77	7 765 749
92	103	7	65	6 777 500
93	121	16	84	15 346 655
94	141	21	91	53 260 166
95	97	16	43	10 950 673
96	108	14	66	11 242 842
<b>TOTALES</b>	<b>1 933</b>	<b>211</b>	<b>1 055</b>	<b>170 036 895</b>

En la siguiente tabla se muestran las causas más comunes que ocasionan accidentes en líneas de distribución de gas. Estas estadísticas fueron proporcionadas por la OPS (Office of Pipeline Safety).

Causas más comunes de accidentes de ductos

CAUSA	NO. DE ACCIDENTES	% DEL TOTAL	DAÑOS A LA PROPIEDAD \$USD	% DEL TOTAL	MUERTES	ACCIDENTES
Corrosión interna	0	0,00	\$ 0	0,00	0	0
Corrosión externa	3	3,09	\$31 000	0,28	1	2
Daños por fuerzas externas	66	68,04	\$8 957 046	81,79	6	24
Construcción/errores de operación	5	5,15	\$1 027 127	9,38	0	4
Accidentes causados por operación	6	6,19	\$90 000	0,82	1	8
Otros	17	17,53	\$845 500	7,72	8	5
<b>Total</b>	<b>97</b>		<b>\$10 950 673</b>		<b>16</b>	<b>43</b>

En la tabla que se presenta a continuación se muestran las principales sustancias involucradas en accidentes químicos del año 1990 al año 1996.

Accidentes por fugas de sustancias

SUSTANCIA	ACCIDENTES
Gasolina	223
<b>Gas combustible</b>	<b>165</b>
Diesel	122
Amoniaco	119
Combustóleo	65
Acido sulfúrico	47
Aceite industrial	35
Cloro y compuestos del cloro	33
Hidróxido de sodio	17
Disolventes	11
Acido clorhídrico	11
TOTAL	848

Como se puede apreciar en la tabla anterior, **el gas es una de las sustancias que ocasiona más accidentes**. Las fuentes de las que se tomó la información fueron: CENAPRED de los años 1990-1996 y PROFEPA de los años 1993-1996.

La preocupación de las autoridades federales, estatales y municipales con relación al manejo de productos químicos e hidrocarburos en general ha tenido una revisión cada vez mayor en los últimos 10 años, debido a que en la sociedad civil se han incrementado las preocupaciones sobre posibles impactos adversos a la salud y al entorno ecológico. Esta preocupación tiene como consecuencia el desarrollo de evaluaciones de riesgo en múltiples actividades que pudieran ocasionar riesgos a la salud. Estas evaluaciones de riesgo han dado como resultado una serie de conocimientos relacionados con las estimaciones de afectación y riesgos a la salud de varios de los proyectos de este tipo.

La evaluación de riesgos es un instrumento eficaz, pero complejo y de continua evolución y actualización, de ella derivan muchas disciplinas incluyendo la ingeniería de la contaminación atmosférica, ingeniería de procesos, meteorología, tecnología computarizada, biología, química, toxicología y el estímulo a la relación entre la tecnología y el uso de recursos con la finalidad de promover un desarrollo sustentable.

Por otro lado, es necesario mencionar que durante los 60 años que tiene de experiencia la empresa, nunca ha tenido un sólo accidente.

Cabe señalar que **Gas Natural Potosino, S.A.P.I. de C.V.** está considerada como una de las empresas líderes en el desarrollo de proyectos de gas natural, ofreciendo a sus clientes el beneficio de un gasoducto directo y una fuente confiable de gas natural. La empresa cuenta con programas verdaderamente estrictos de seguridad industrial, planes de capacitación y entrenamiento, y un plan de emergencias detallado. Las instalaciones se encuentran diseñadas para minimizar el potencial de cualquier impacto adverso al ambiente.

**Gas Natural Potosino, S.A.P.I. de C.V.** es una empresa con experiencia en el ámbito del gas natural, se dedica a la ingeniería, construcción, operación y financiamiento de gasoductos para uso industrial e interviene en la comercialización del gas natural.

### **I.6.2 Metodologías de identificación y jerarquización**

Un análisis de riesgos es un esfuerzo organizado para identificar y analizar el significado de situaciones peligrosas asociadas a procesos o actividades. El análisis de riesgos hace hincapié en la búsqueda de deficiencias en el diseño y condiciones de operación de instalaciones que pueden ser causa de daños a la integridad humana, entorno ecológico e impacto económico.

El análisis de riesgos puede realizarse a través del "sentido común", pero la complejidad de la tecnología moderna ha hecho que el proceso de análisis sea complejo también. Por ello se han desarrollado y establecido metodologías sistematizadas de alta confiabilidad, para realizar los diagnósticos de seguridad de los procesos industriales.

La **OSHA** (Occupational Safety and Health Administration), presenta la siguiente definición: "Riesgo es una medida de la probabilidad y severidad de daño a la salud humana y propiedades". Incluye ambos sentidos de que la posibilidad de daño puede ocurrir y la indicación de que tan serio es el posible daño, es decir, el riesgo es igual a la probabilidad por la consecuencia.

En general los elementos que dan origen a los riesgos presentes en una instalación de proceso industrial son; las materias primas, productos intermedios, terminados, procesos, recursos humanos, residuos peligrosos, medio ambiente, la interacción de estos elementos a través de la tecnología utilizada, son los que dan por resultado, la existencia de riesgos reales y potenciales y su magnitud depende de las características particulares de cada uno de los elementos anteriores.

Los puntos de riesgo se relacionan con todas aquellas áreas que en un momento dado puedan causar daño al personal, a la infraestructura o al medio ambiente, ya sea por toxicidad, fuego o explosión y/o otras condiciones adversas.

Uno de los parámetros que es deseable conocer de una actividad de riesgo, es el grado de seguridad de la instalación, es decir, qué tan riesgosa es. La Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental de la SEMARNAT, a través de la Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, recomienda efectuar la identificación de riesgos en instalaciones, utilizando alguna de las siguientes metodologías: Análisis de Riesgo y Operabilidad (HazOp); Análisis de Modo Falla y Efecto (FMEA) con Árbol de Eventos; Árbol de Fallas, o alguna otra con características similares a las anteriores y/o la combinación de éstas.

### Metodología empleada para la identificación de riesgos

Los criterios de selección para las metodologías utilizadas que se tomaron fueron los siguientes: motivo del estudio (sin estudios previos); tipo de resultado requerido (lista de problemas / accidentes y lista de acciones); información del proceso con que se cuenta (experiencia similar, diagramas de la instalación, historial operativo "en instalaciones similares"); características del problema (operación simple, proceso mecánico, operación continua, peligro de inflamabilidad y explosividad, situación falla aislada, accidentes proceso fuera de control); riesgo percibido e historial (amplia experiencia, historial de accidentes actualizado, accidentes sin cambios, riesgo percibido bajo).

#### a) Identificación de Riesgos

Para seleccionar la metodología que mejor aplica para la realización del estudio de riesgo se utilizó la guía sugerida por el Centro de Seguridad en Procesos Químicos (CCPs) del Instituto Americano de Ingenieros Químicos (AIChE). Se determinó la aplicación del procedimiento de **Lista de Verificación**, y como técnica principal para la identificación de riesgos se utilizó el **HAZOP**, las cuales fueron aplicadas por un grupo multidisciplinario.

#### b) Jerarquización de Riesgos

Para la jerarquización de los escenarios de riesgo previamente identificados, tanto en el ducto y las Estaciones de Medición y Regulación, mediante la aplicación de las técnicas de evaluación cualitativas, Lista de Verificación y HazOp, se plantea el uso de una técnica semicuantitativa de riesgo llamada **Matriz de Jerarquización de Riesgo** (CCPs, 1995), o **Índice Global de Riesgo**.

#### c) Evaluación de Consecuencias

Por último, una vez **identificados y jerarquizados estos riesgos**, se simulan en forma matemática por medio de un software. Una vez determinados los riesgos, definidos como **escenario de accidentes** o escenarios accidentales más significativos de la instalación bajo estudio, se deberá evaluar el alcance de las consecuencias derivadas de los mismos.

Para elaborar las simulaciones y el análisis de consecuencias del presente estudio, se seleccionó el programa **ARCHIE (Automated Resource for Chemical Hazard Incident Evaluation)**, versión 1.0 de Microsoft Corp. 1982-1986.

### Desarrollo de las metodologías de identificación de riesgos.

En este apartado se enuncia el desarrollo de las diferentes metodologías utilizadas para la Identificación, Jerarquización y Evaluación de consecuencias para el proyecto del **Gasoducto Villaserre**.

Para realizar el análisis de riesgo ambiental, del proyecto en cuestión, se utilizarán dos de las técnicas mencionadas en el documento del Centro de Seguridad de Procesos Químicos (Center for Chemical Process Safety) (CCPS) del Instituto Americano de Ingeniería Química (American Institute of Chemical Engineers) (AIChE) "Guidelines for Hazard Evaluation Procedures", así también el API-RP 750 y API-RP-14J párrafo 7.5.3, como algunas de las recomendaciones para realizar estudios de análisis de riesgo. Estas técnicas son **Lista de Verificación** (Check List) y **HazOp** (Hazard and Operability Analysis).

## Descripción de las Técnicas de Evaluación de Riesgos

### Lista de verificación

Es una lista de datos específicos para identificar tipos conocidos de peligros, deficiencias de diseño y situaciones potenciales de accidentes asociadas con operaciones y equipo de proceso.

Esta técnica se utiliza para evaluar materiales, equipo o procedimientos, con base en especificaciones de diseño. El uso apropiado de la Lista de Verificación asegura que una pieza o equipo cumple con estándares aceptados y permite identificar áreas que requieren mayor atención en su evaluación. Se puede aplicar en cualquier fase de un proyecto o modificación de una instalación: diseño, construcción, puesta en marcha, operación y paradas.

Para utilizar una lista de Verificación adecuada tiene que seleccionar una que se adapte al proceso y que contenga recursos disponibles (ejemplo: Estándares internacionales, guías industriales, normas vigentes, entre otras). Si no se cuenta con una Lista de Verificación específica, se deberá usar su propia experiencia y la información disponible de fuentes autorizadas para generar una que se adapte a las necesidades del proceso.

La Lista de Verificación que se utilizó para este estudio comprende siete puntos, de los cuales se obtuvo información de la manera en que se operará y administrará la seguridad en el sistema.

- 1.- Dirección y Administración
- 2.- Seguridad Industrial
- 3.- Higiene Industrial
- 4.- Protección Ambiental
- 5.- Preparación Para Emergencias
- 6.- Sistemas y Equipos de Respuesta
- 7.- Seguridad en la Operación

La técnica de identificación de peligros denominada lista de verificación se utilizó como complemento en el análisis cualitativo de los peligros del diseño y operación del gasoducto. De la aplicación de las listas de verificación se determinó que el gasoducto de 6" y 4" contempla los dispositivos de seguridad mínimos necesarios para una operación segura del mismo, como son:

- Válvula de alivio PSV-01
- Válvula SLAM-SHUT (SHV-01) de corte automático, actuada por el sensor por alta presión
- Filtro coalescedor FS-01
- Filtro de gas seco FS-02
- Sistema de odorización
- Sistema SCADA

Dispositivos

Para lograr identificar los posibles eventos críticos o de riesgo de una forma gradual en una instalación en general, primero se debe contar con un sondeo general para la identificación de zonas o equipos riesgosos de la instalación, para lo cual se seleccionó la aplicación y análisis de una lista de verificación, la cual tiene como objetivo principal, identificar zonas críticas con probabilidad de riesgo en el área del proyecto, así como el comparar materiales, instalaciones, equipos o instrumentación; a usar, con los datos de normas, códigos estándares establecidos por la experiencia internacional y nacional con las ventajas de ser un método simple y económico.

Después de analizar los resultados emanados de la lista de verificación, se detectaron áreas o equipos de riesgo considerable (nodos) los cuales se analizarán con la metodología HazOp, esta técnica fue seleccionada, como la adecuada, debido a su profundidad de análisis, por su aplicabilidad dinámica, cuando se tienen los recursos necesarios, por la identificación de peligros de manera fácil, evaluación de riesgos, evaluación de consecuencias, con las características de ser una metodología objetiva, cualitativa, basada en conocimiento y experiencia, racional, lógica, real y creativa.

### **ANÁLISIS HAZOP**

La metodología **HAZOP**, es un procedimiento que permite reconocer riesgos difícilmente reconocibles por simple observación o revisiones de seguridad de tipo general. En la aplicación de esta metodología, se cuestiona a cada una de las partes críticas del proceso para descubrir que desviaciones del propósito original pueden ocurrir y determinar cuáles de esas desviaciones pueden dar lugar a riesgos al personal, al proceso o las instalaciones.

Para determinar los riesgos que se pueden presentar en las instalaciones, se analizaron las características de construcción y diseño, así como de operación del ducto; observaciones de campo y procesos de instalaciones similares, aplicando la metodología **HazOp** en la que se identifican los riesgos potenciales asociados con el concepto, el diseño, construcción, operación, mantenimiento y/o administración de cualquier proceso o actividad.

El HAZOP es una técnica para identificar riesgos y problemas que impiden o pudieran impedir una operación eficiente. Es además una técnica que permite revisar todas las formas posibles en que pudieran darse riesgos o problemas de operación.

La técnica para el estudio de **Análisis de Riesgos Operacionales (HazOp)**, es una metodología de análisis sistemático y crítico al proceso y a los propósitos de diseño de las instalaciones, ya sean nuevas o existentes, y permite reconocer el o los riesgos de una mala operación y/o las condiciones inseguras de los diferentes equipos que constituyen la instalación, previniendo además las consecuencias para el personal, la instalación misma y el entorno del lugar en el cual se ubica.

Para desarrollar un estudio de HazOp, se integra un grupo multidisciplinario de especialistas con experiencia y conocimiento en diseño, operación, mantenimiento y seguridad de instalaciones similares a la que se va a estudiar, encabezado por un líder con conocimiento profundo de la técnica. Se requiere que comprendan completamente el proceso y sus interrelaciones con los fenómenos físicos y químicos involucrados, a fin de poder cuestionar correctamente cada una de las secciones del proceso y sus componentes, identificando las posibles desviaciones al propósito original que puedan ocurrir bajo diferentes circunstancias y así, determinar cuáles de esas desviaciones pudiesen dar lugar a riesgos para el personal y las instalaciones durante la operación de las mismas.

El uso de la técnica de análisis HAZOP requiere una fuente de información detallada referente al diseño y operación de una instalación o proceso. Esta técnica es aplicable a todas las fases de vida de la instalación, tanto para un diseño o tecnología nueva como para instalaciones ya existentes. De aquí se deriva la fundamentación de su uso para el presente estudio.

La técnica de análisis "HazOp" fue originalmente desarrollada por el Dr. Trevor Kletz en la década de 1970 en la compañía Imperial Chemical Industries, para evaluar la operación de sus instalaciones industriales, posteriormente esta técnica fue adaptada de manera colegiada por el American Institute of Chemical Engineers y difundida a partir de 1992 a través de las Guías editadas por el Center for Chemical Process Safety, y es recomendada para identificar los problemas de seguridad y de operabilidad que se pudiesen presentar en una instalación durante su operación normal, arranque y paro, Aiche 1999.

Originalmente esta técnica fue desarrollada para predecir peligros y problemas en la operación en casos en los que se tiene poca experiencia previa, para la evaluación de nuevos diseños o tecnología de procesos, pero su uso se ha extendido a todas las fases de la vida de las instalaciones. La base de la aplicación de los estudios HAZOP es considerar que los riesgos o los problemas aparecen solo como consecuencia de las desviaciones sobre las condiciones de operación que se consideran normales en un sistema dado.

La principal herramienta que maneja esta técnica son los diagramas de tubería e instrumentación (DTI's) y se apoya también en toda la información que es posible recabar para la actividad en estudio. Se realiza la revisión de los diagramas y procedimientos en una serie de reuniones durante las cuales un equipo multidisciplinario hace uso de un protocolo para evaluar la importancia de las desviaciones de la intención normal de diseño de un sistema. El grupo de análisis selecciona el sistema y le aplica una serie de "palabras guía", que representan fallas o desviaciones a la intención de diseño de las partes del sistema, identifica posibles causas de dichas fallas y determina sus consecuencias como un evento de riesgo. Finalmente se dan recomendaciones para mitigar o eliminar el riesgo.

El HazOp es una técnica cualitativa que tiene como objetivo la identificación de riesgos y no la solución de los problemas detectados. Los objetivos principales de este método, son:

1. El identificar posibles desviaciones de las condiciones normales de operación (sucesos indeseables ) que tienen probabilidad de llegar a presentarse y que puedan significar un peligro potencial de accidente mayor.
2. Encontrar las posibles causas y efectos de dichas desviaciones.
3. Describir las características del sistema que impiden que se presente la desviación.
4. Valorar la probabilidad y consecuencias de la desviación en caso de que se presentara para que al multiplicarlas se obtenga el riesgo.
5. Verificar que las salvaguardas previstas son suficientes para considerar el diseño como aceptable desde el punto de vista de riesgos mayores.
6. Jerarquizar los posibles riesgos para llevar a cabo un plan de modificaciones tanto en plano como en la construcción dando importancia a los riesgos críticos.

Las figuras 1 y 2, muestran el procedimiento para realizar el Estudio de Riesgo y Operabilidad (HAZOP), así como el protocolo de reunión para la elaboración del Hazop.

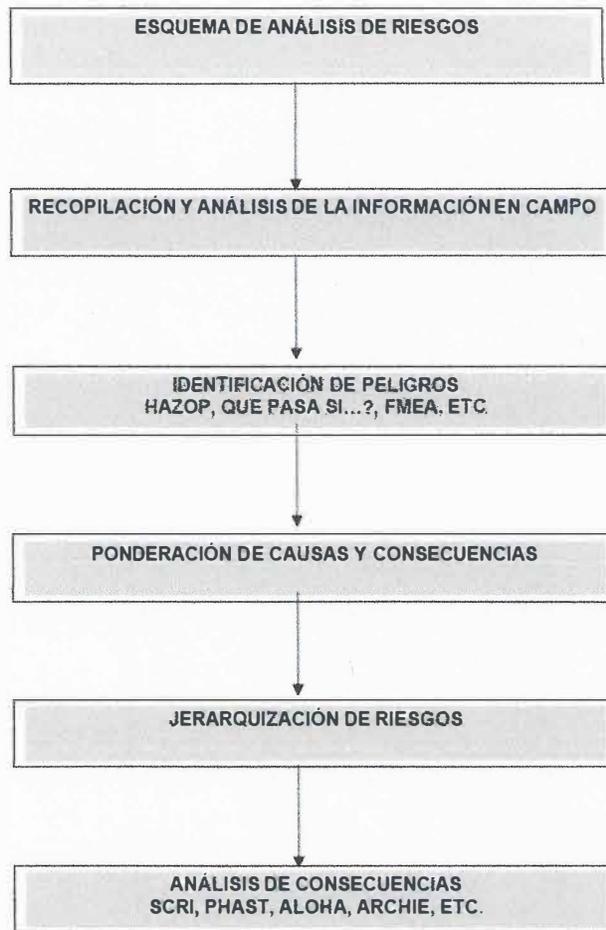


Figura 1. Procedimiento para realizar el Estudio de Riesgo y Operabilidad (HAZOP)

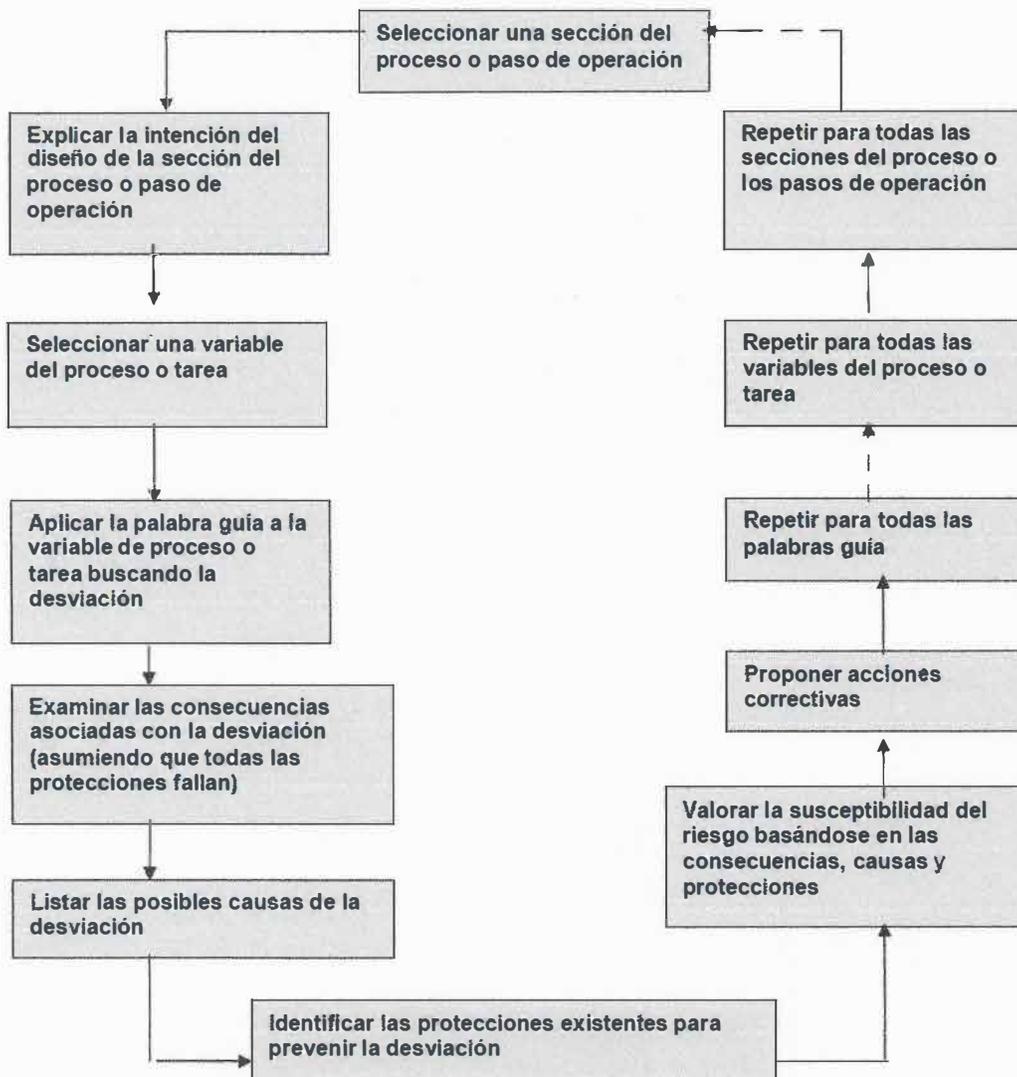


Fig. 2 Protocolo de la reunión de Análisis HAZOP

**Etapas de un proceso en las que se realiza un Estudio HazOp.**

- Diseño.
- Operación.
- Modificaciones o adecuaciones a la planta.
- Mejoras en el proceso de plantas existentes.
- Después de un incidente o accidente.
- Por requerimientos externos (autoridad).

### Requisitos para la elaboración de un Estudio HazOp:

- Documentación técnica actualizada.
- Llevarlo a cabo en el sitio.
- Diseño (oficinas).
- Operación (planta).
- Grupo interdisciplinario.
- Líder.
- Ingeniero de proceso/mecánico.
- Ingeniero de operación.
- Ingeniero de instrumentación.
- Ingeniero de seguridad.
- Ingeniero de mantenimiento.
- Secretario.
- Registro de información (formatos, software).

### Metodología HAZOP

El HAZOP (**HAZ**ard **OP**erability study) es una técnica cualitativa que permite identificar puntos de "peligro potencial" y como resultado de ello las hipótesis de accidentes que pudieran ocurrir en la instalación. Luego de una valoración y jerarquización estaremos en posibilidades de encontrar los riesgos más relevantes en una planta. Por lo tanto, el propósito consiste en determinar si el diseño ofrece desde el punto de vista de seguridad las garantías suficientes para minimizar los riesgos de un accidente grave.

Los **peligros** que representan las actividades, operaciones y procesos llevados a cabo en las instalaciones industriales, están asociadas directamente a la naturaleza de los materiales y tipos de energía empleados, por ejemplo, si un material es inflamable existe siempre el peligro de que esa característica se vuelva en contra nuestra o del ambiente convirtiéndose en conato y si no es controlado en su primer etapa se extenderá hasta convertirse en un incendio.

El **riesgo** por otra parte es una expresión matemática que nos ayuda a valorar los factores que provocan que el peligro se transforme en una emergencia, por otra parte existen elementos de diseño que se colocan en el **sistema** para; prevenir, proteger, combatir o mitigar los posibles riesgos a los que llamaremos **salvaguardas** y que ayudan a controlar el riesgo hasta cierto nivel quedando un remanente que podremos evaluar. Para fines del presente estudio definimos **frecuencia** como el resultado de la cantidad de veces que se presenta un determinado evento o desviación del flujo operativo en un periodo largo de un proceso, derivado de la frecuencia podremos obtener la **probabilidad**, que es uno de los factores del riesgo, otro factor se asocia a los daños a la producción o a las instalaciones y que pueden repercutir en la imagen que una instalación, adicionalmente a las pérdidas se pueden presentar como consecuencias en los trabajadores y habitantes próximos las lesiones, muertes o la simple evacuación, todas ellas son llamadas **consecuencias** que se generan al presentarse el evento; cabe aclarar que tales riesgos son manifestaciones o valoraciones matemáticas del peligro o de desviación no deseada de un modo normal de operación, y son originados cuando el proceso cae fuera de sus **condiciones normales de operación**, o es llevado accidental o imprudencialmente fuera de los rangos establecidos en la **filosofía de operación**.

La definición dada por la Chemical Industry Association [CIA-85] en su guía es:

HAZOP es:

*"La aplicación de un examen crítico, formal y sistemático a un proceso o proyecto de ingeniería de nueva instalación, para evaluar el riesgo potencial de la operación o funcionamiento incorrecto de los componentes individuales de los equipos, y los consiguientes efectos sobre la instalación como conjunto."*

[CIA85] CHEMICAL INDUSTRY ASSOCIATION. *A Guide to Hazard and Operability Analysis*. 1985.

Los objetivos básicos del HAZOP son:

- a) **Identificación de Peligros**, donde se identifica las características de los materiales de la planta, proceso, equipo, procedimiento, etc., que puedan representar accidentes potenciales.
- b) **Identificación de Problemas de Operabilidad**, donde se identifica los problemas potenciales operativos, los cuales podrían ocasionar que se falle en alcanzar la productividad y metas de diseño.

Con el fin de tener una mayor sensibilidad de los riesgos que tendrá la operación del ducto, la Estación de Medición y Regulación, así como la caseta de usuario, aplicaremos la metodología HazOp al **sistema de tuberías de acero al carbón**, que incluye válvulas, juntas, bridas y empaques, así como a la tubería **de acero de 4 y 6"** de diámetro (por instalar).

La metodología consiste en considerar a todo el proyecto como un sistema, y dividir la instalación (proceso) en subsistemas que tengan una identidad funcional propia, seleccionando una serie de **nodos** en cada subsistema donde se analizan de forma independiente las posibles **desviaciones** que se pudieran presentar de las principales **variables** que caracterizan el proceso (presión, temperatura, caudal, etc.), así como sus **causas**, efectos o **consecuencias**, y alcance, en función de las características de operación, del equipo involucrado, de los posibles factores externos y fenómenos naturales que pudieran influir en la desviación de su funcionamiento o condiciones normales.

Las "**Desviaciones**" son cambios que se presentan al propósito y puestas al descubierto por la aplicación sistemática de palabras claves (que pasa sí se reduce, sí se aumenta, sí se para, sí se arranca, sí se rompe, sí se descompone, etc.).

Las "**Causas**" son los motivos por los que se pueden presentar las desviaciones, cuando se demuestra que una desviación tiene una causa real, se considera como una desviación significativa.

Las "**Consecuencias**" son los resultados que se obtendrían en caso de que se presentaran las desviaciones.

El primer paso de la metodología consiste en seleccionar una serie de nodos que son lugares de proceso con condiciones similares; donde se analizan las posibles desviaciones de las principales variables que caracterizan el proceso (**PRESIÓN, TEMPERATURA, CAUDAL, NIVEL, COMPOSICIÓN**).

Las desviaciones son establecidas de forma sistemática recurriendo a una lista de **palabras guía** (NO, MÁS, MENOS, OTRO, INVERSO) que califican el tipo de desviación.

La metodología HazOp proporciona una visión general del proyecto y nos da una idea de los puntos que pueden desencadenar situaciones de riesgo en la operación del ducto y de la Estación de Medición. En este estudio emplearemos las palabras guía más adecuadas, que al combinarse con los parámetros seleccionados, muestren la posible presencia de un riesgo ambiental (como una fuga, incendio y/o una explosión), que puedan afectar al personal, al ambiente o a las instalaciones.

Como agentes externos se engloban todos aquellos factores que pueden ocasionar un accidente en las instalaciones, en los cuales no se puede intervenir para prevenirlo o evitarlo. Este concepto, engloba a todos los fenómenos naturales como: terremotos, granizadas, tormentas eléctricas, golpes o fracturas debido a golpes con maquinaria y/o equipo pesado a las líneas, corrimiento de tierra, entre otros, así como eventos de sabotaje.

La siguiente tabla extraída del libro Análisis del Riesgos en Instalaciones Industriales de Joaquim Casal - Helena Montiel, Eulália Planas y Juan A. Vílchez (ARII-99) nos ayudan a visualizar el análisis.

Palabra guía	Significado	Parámetro de proceso	Ejemplos de desviación
NO	Negación de la intención del diseño	Temperatura	"No" + "Caudal" = Falta de caudal
MENOS	Disminución cuantitativa	Presión	"Menos" + "Nivel" = Bajo nivel
MÁS	Aumento cuantitativo Composición	Nivel	"Más" + "Presión" = Presión excesiva
OTRO	Sustitución parcial o total Viscosidad	Reacción	"Otra" + "Composición" = Presencia de impurezas
INVERSA	Función opuesta a la intención de diseño	Caudal	"Inverso" + "Caudal" = Flujo inverso
		Velocidad	
		Tiempo	
		Mezcla	
		Voltaje	
		Adición	
		Separación	
		pH	

Ejemplos de palabras guía frecuentemente utilizadas se mencionan en la Tabla 1

Tabla 1 Palabras guía más utilizadas en la metodología HAZOP

Palabras Guía	Significado	Ejemplo de desviación	Ejemplo de causas originadoras o problemas típicos
<b>NO, NADA, NINGUNA</b>	<b>Ausencia de la variable</b> a la cual se aplica. No se consiguen las intenciones previstas en las especificaciones el diseño.	NO FLUJO No hay flujo en una línea	Bloqueo; fallo de bomba; válvula cerrada o atascada; fuga; válvula abierta; fallo de control; conducto de aspiración en vacío; obstrucción por sedimentos o cuerpos extraños, etc.
<b>MÁS</b>	<b>Aumento cuantitativo</b> de una variable. Se refiere a cantidades de medición: caudales, presión, temperatura, viscosidad, etc., o actividades: reaccionar, calentar, etc.	MÁS FLUJO Más caudal	Aspiración o succión presurizada, válvula atascada abierta; controladora saturado; fuga; lectura errónea de instrumentos; lectura flujómetro incorrecta, etc.
		MÁS TEMPERATURA	Fuegos exteriores; bloqueo; puntos calientes; explosión en reactor; reacción descontrolada.
<b>MENOS</b>	<b>Disminución cuantitativa</b> de una variable. Se refiere a cantidades de medición: caudales, presión, temperatura, viscosidad, etc., o actividades: reaccionar, calentar, etc.	MENOS FLUJO Menos caudal	Fallo de bombeo; fuga; bloqueo parcial; sedimentos en línea; falta de carga; bloqueo de válvulas
		MENOS TEMPERATURA	Pérdidas de calor; vaporización; venteo bloqueado; fallo de sellado
<b>ADEMÁS DE, MAYOR QUE, O ASÍ COMO</b>	<b>Aumento cualitativo.</b> Se obtiene algo más, ocurre algo más o se realiza una actividad adicional, junto con la función deseada o intenciones de diseño que se consiguen.	MÁS TEMPERATURA	Suciedad en intercambiador de enfriamiento; fallos del regulador de temperatura, etc.
		PRESENCIA DE IMPUREZAS Impurezas o una fase extraordinaria	Entrada de contaminantes del exterior como aire, agua o aceites; productos de corrosión; fallo de aislamiento; presencia de materiales por fugas interiores; fallos de la puesta en marcha
<b>PARTE DE</b>	<b>Disminución cualitativa.</b> Se realiza solamente una parte de la función deseada. Solo parte de lo que debería ocurrir sucede según lo provisto.	Disminución de la composición en una mezcla.	Concentración demasiado baja en la mezcla; reacciones adicionales; cambio en la alimentación
<b>INVERSO, AL CONTRARIO</b>	<b>Opuesto lógico</b> del intento. Se obtiene el efecto contrario al deseado. Utilizable preferentemente a actividades tales como flujo de retroceso, inversión de reacción química, etc.	FLUJO DE RETORNO Flujo inverso	Fallo de bomba; bomba invertida; sifón hacia atrás; inversión de bombeo; válvula antirretorno (antiretroceso) que falla o está insertada en la tubería de forma incorrecta; comunicación con sobrepresión
<b>EN VEZ DE, OTROS, DE OTRA FORMA, DIFERENTE</b>	<b>Sustitución completa</b> de la función deseada. No se obtiene el efecto deseado. En su lugar ocurre algo completamente distinto a las finalidades originales. Actividades distintas respecto a la operación normal	Cualquier actividad	Puesta en marcha y parada; pruebas e inspecciones; muestreo; mantenimiento; activación del catalizador; eliminación de tapones; corrosión; fallo de energía; emisiones indeseadas, etc.
<b>OTRAS PALABRAS</b>	Pueden ser con el mismo efecto de las antes descritas o presentar otras alternativas.		

De la misma forma, en la **Tabla 2** se muestran ejemplos de los principales parámetros o variables de proceso que pueden ser tomadas en cuenta en un análisis de riesgo HAZOP:

**Tabla 2.- Variables de proceso más comúnmente utilizadas**

Variables		
Flujo	Tiempo	Reacción
Presión	PH	Pérdida de servicios
Temperatura	Velocidad	Paro y Arranque
Corrosión	Viscosidad	Fugas, derrames
Cambio de composición	Voltaje	Agentes externos
Nivel	Mezclado	Etc.
Frecuencia	Separación	

Como se mencionó anteriormente, cuando las palabras guía se combinan con las variables de proceso, sugieren desviaciones o problemas potenciales.

Como agentes externos se engloban todos aquellos factores que pueden producir un accidente en las instalaciones y en los cuales normalmente, no se puede intervenir para prevenirlo o evitarlo. Este concepto engloba a todos los fenómenos naturales como: terremotos, tormentas eléctricas, golpes con maquinaria y/o equipo pesado a las líneas, corrimientos de tierra, entre otros, así como Cargas ambientales y accidentales.

Palabras guías más variable de operación, dando desviaciones específicas a analizar para cada nodo identificado:

- **Alto Flujo.**
- **Bajo Flujo.**
- **Flujo inverso.**
- **Alta presión.**
- **Baja presión.**
- **Nada presión.**
- **Alta temperatura.**
- **Baja temperatura.**
- **Alta corrosión.**
- **Perdida de servicio.**
- **Problemas en paro y arranque.**
- **Fugas y derrames.**
- **Agentes externos.**

El análisis crítico de cada parámetro asociado a la palabra guía nos muestra una desviación importante y para cada desviación identificada se debe incluir la siguiente información:

- La lista de las posibles **causas** que la provocan.
- La lista de las **consecuencias** factibles, que se pueden producir con relación a cada una de las causas planteadas.
- La respuesta automática del sistema ante la desviación estudiada, provocada por los elementos del sistema que permiten detectar el fenómeno o contrarrestar sus efectos tales como: válvulas, controladores, indicadores, alarmas, etc.
- El tipo de señalización (acústica/visual) que puede permitir la detección de la anomalía
- Se valoran la probabilidad y consecuencia numéricamente utilizando las tablas de valor y se multiplican para obtener el riesgo
- Los valores de riesgo obtenidos se comparan ante la matriz de aceptabilidad de riesgos para determinar si son o no aceptables.
- En el caso del riesgo sea inaceptable se dictan Acciones que se podrían tomar para evitar las causas o limitar las consecuencias.
- Los comentarios son: cualquier tipo de anotación para completar o aclarar algunos de los puntos anteriores.
- En cuanto a las recomendaciones que se podrían tomar para evitar las causas o limitar las consecuencias, se realiza una clasificación para evitar la duplicidad y se editan las recomendaciones que forman parte del estudio Haz Op.
- Queda implícito el compromiso y aceptación del cumplimiento de dichas recomendaciones.

El procedimiento para realizar el Estudio de Riesgo y Operabilidad (HAZOP) se ilustra en la tabla 3.

**Tabla 3.- Procedimiento para realizar el HAZOP.**

1	Seleccionar una sección del proceso o paso de operación
2	Explicar la intención de diseño
3	Seleccionar una variable del proceso o tarea
4	Aplicar una palabra guía a la variable de proceso
5	Examinar las consecuencias (pasar al punto 9 si no hay consecuencias de interés)
6	Hacer una lista de las causas posibles (pasar al punto 9 si no hay causas creíbles)
7	Se identifican las protecciones existentes para prevenir la desviación
8	Valorar la aceptabilidad del riesgo y desarrollar las acciones apropiadas
9	Repetir del paso 4 al 8 para todas las palabras guías
10	Repetir los pasos 3 a 9 para todas las variables/etapas del proceso
11	Repetir los pasos 1 a 10 para todas las secciones del proceso.

En el siguiente diagrama, se observan las iteraciones que se realiza durante las sesiones del HAZOP.

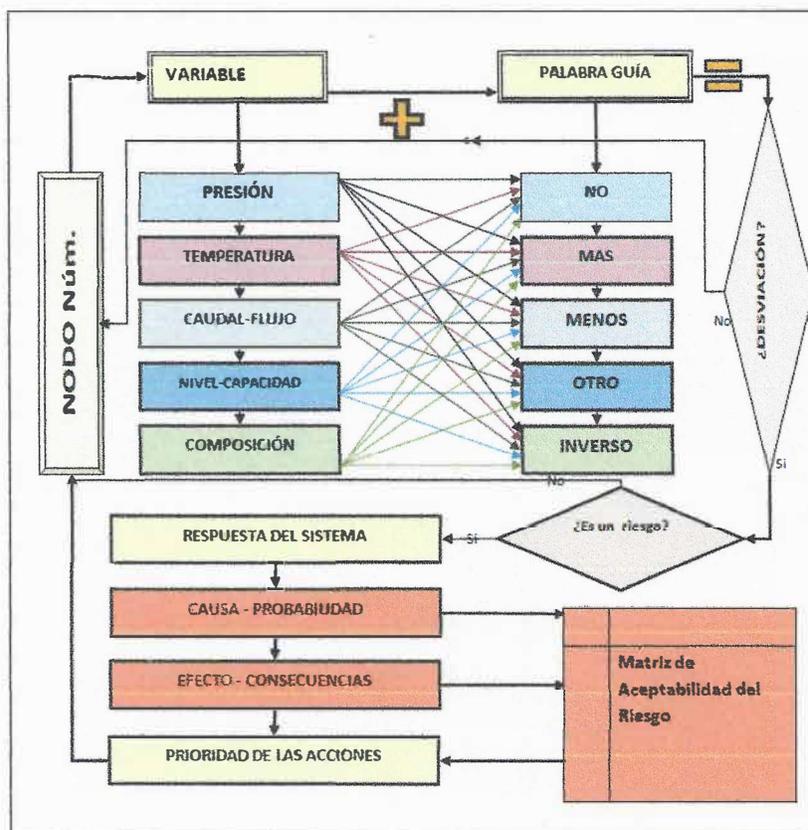


Diagrama Iteraciones del Hazop.

Como referencia de la ingeniería, se utilizaron los DTI's, especificaciones de equipos y tubería, fotografías y estudios de proyectos similares, y demás información desarrollada en las memorias descriptivas y la información ambiental del gasoducto por parte de la empresa GAS NATURAL POTOSINO, S.A.P.I.

Las hojas de trabajo correspondiente a la aplicación de la metodología HAZOP para el **Gasoducto Villaserre**, se muestran en el **Anexo 7**. En ellas se pueden encontrar las desviaciones, causas que las originan, salvaguardas y recomendaciones aplicadas al proceso.

Los **Nodos** han sido seleccionados para representar puntos críticos en el proceso e instalaciones donde pueden ocurrir cambios. Para efectos de este análisis se tomaron como nodos al ducto, estación de medición y regulación del punto de interconexión, y la caseta de medición y regulación del usuario, con sus respectivos componentes y dispositivos.

Después de aplicar la metodología **Check List** y análisis de las propiedades fisicoquímicas de la sustancia involucrada en el ducto, de las bases de diseño del proyecto, así como de los Planos de arreglo general, diagramas de tubería e instrumentación (**ANEXO 4**), del ducto o sistema, se identificaron y establecieron **3 nodos de riesgo**, los cuales se analizaron y evaluaron a través de sesiones programadas. En las sesiones de trabajo se llevó a cabo el análisis de estos 3 nodos a través del conocimiento y puntos de vista de cada participante involucrado.

**Tabla 3. Nodos en el proyecto GASODUCTO VILLASERRE.**

<b>NODO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
1	Estación de Medición y Regulación principal (alta presión), y tramo de tubería de interconexión
2	Gasoducto de acero (línea regular) de 6 y 4" de diámetro
3	Caseta de Medición y Regulación del usuario (baja presión)

Se analizaron tres nodos cuya descripción se presenta en la **Tabla 3** en la cual también se presentan las desviaciones analizadas por cada nodo.

Posteriormente, en función de la cantidad de material peligroso manejado y como consecuencia del alcance de las consecuencias, de cada parte del sistema, se procedió a calificar la magnitud de las consecuencias de las posibles desviaciones de cada parte del sistema

Para poder cuantificar cada parte del sistema y obtener como conclusión, su jerarquización, no se han considerado las medidas de seguridad que tendrá cada parte del sistema; ya que para minimizar los riesgos, en la parte correspondiente a medidas de seguridad, se indican todas aquéllas que se han considerado dentro del proyecto y las que se tendrían que implementar para conseguir una instalación y operación segura.

De acuerdo a lo analizado por medio de metodologías y métodos computacionales, a continuación se presenta una relación de los eventos más comunes de fugas en tuberías, mismos que fueron tomados en cuenta por equipo de trabajo para la evaluación de escenarios. Cabe mencionar que para incendio o explosión, se deberá haber presentado una fuga previamente.

**DUCTO:**

- Fuga por corrosión en la tubería
- Fuga por una soldadura defectuosa
- Fuga por ruptura parcial de tubería
- Fuga por ruptura total de tubería
- Fuga por un golpe en el ducto
- Fuga por sabotaje
- Fuga por fenómenos naturales (sismos, huracanes, etc.)

## CASETAS:

- Fuga por corrosión en la tubería o en el patín de medición
- Fuga por mal estado de una válvula
- Fuga por mal estado o desgaste de conexiones
- Fuga por una soldadura defectuosa
- Fuga por ruptura parcial de tubería
- Fuga por sobrepresión en la línea o por mal estado de la válvula de seguridad (de desfogue)
- Fuga por error de operación o de mantenimiento (error humano)
- Fuga por un golpe en los accesorios
- Fuga por sabotaje
- Fuga por fenómenos naturales (sismos, huracanes, etc.)

## Terminología utilizada en el estudio HAZOP

De acuerdo con lo hasta aquí asentado, en la ejecución de un estudio HAZOP se utilizan varios términos con significado especial:

- **Causas:** Son los motivos, razones o situaciones por las cuales las desviaciones pueden ocurrir. Dado que no todas las desviaciones posibles son relevantes, el equipo de trabajo debe identificar aquellas desviaciones que sean significativas. Cuando se demuestra que una desviación tiene una causa real, se considera como una desviación significativa. Ejemplos de causas son falla de equipos, error humano, causas externas. Usualmente hay más de una causa por desviación.
- **Consecuencias:** Son los resultados o efectos potenciales que pueden presentarse en caso de que ocurran las desviaciones (por ejemplo: una liberación de material tóxico). Note que las consecuencias de una desviación frecuentemente difieren para cada causa de la desviación.
- **Desviaciones:** Son los cambios o variaciones que se pueden presentar durante la operación del sistema (línea), lográndose mediante la combinación de la palabra clave seleccionada, más la variable de operación del sistema analizado, como presión temperatura, flujo, etc. Es la pérdida de la intención de diseño y es descubierta aplicando sistemáticamente las palabras guía a cada parámetro en cada nodo.

Ejemplos:

No + Flujo = No flujo

Mas + Temperatura = Mayor Temperatura

- **Intención:** La intención define cómo se espera que el sistema opere en el nodo. La intención provee un punto de referencia para desarrollar desviaciones.

- **Nodo:** Es un punto, sección o área de estudio de un sistema integral, donde el proceso cumple con una función específica de diseño. Cada línea, pieza, equipo puede ser seleccionado o examinado como un nodo, esto dependerá de que tan a detalle se requiera el estudio, sin embargo, en la práctica común se toma o establece un nodo como una sección del proceso, operación unitaria, etc.. Los nodos normalmente son secciones de tubería, recipientes u otro equipo (la amplitud del nodo depende de la experiencia del equipo de trabajo y de la experticia que se tenga del proceso). La selección de nodos usualmente los define el líder del estudio antes de las reuniones de trabajo.
- **Palabra Clave:** Esta es una palabra o frase utilizada para calificar o cuantificar la intención y asociada a parámetros para descubrir desviaciones.
- **Parámetro:** Es un aspecto del proceso que lo describe físicamente, químicamente o en términos que digan qué está sucediendo.
- **Recomendaciones:** Son las acciones sugeridas por el equipo de trabajo HAZOP para efectuar cambios en el diseño, cambios en los procedimientos, o para realizar estudios complementarios, para prevenir o aminorar las consecuencias establecidas. Note que habrá recomendaciones siempre que las salvaguardas existentes en el lugar sean insuficientes o poco confiables, así como también cuando se requiera mayor información o ejecución de estudios.
- **Salvaguardas:** Son los mecanismos, medidas de seguridad, dispositivos, instrumentación, controles, planes y programas con los que cuenta el sistema para prevenir las causas, o bien para mitigar o minimizar las consecuencias de cada desviación.

#### **ASPECTOS ESPECÍFICOS CONSIDERADOS EN EL ANÁLISIS HAZOP.**

Considerando el amplio rango de factores que pueden contribuir a generar accidentes durante el **manejo de gas natural por ducto**, se realizó un análisis comprensivo de las diversas actividades que se realizan y de sus operaciones en el que se consideraron los siguientes aspectos:

##### ***Grado de Peligrosidad.***

El objetivo principal del análisis es analizar los riesgos potenciales asociados a la construcción y operación de las actividades de transportación de gas natural en el ducto. Mediante la aplicación de las metodologías HAZOP, y las Listas de Verificación, se identificaron y evaluaron los riesgos inherentes al material manejados (gas natural), a las condiciones de manejo (flujo, temperatura, presión, etc.), y a los tiempos de respuesta de la brigada de atención de emergencias, a condiciones anómalas.

##### ***Incidentes previos.***

De acuerdo con lo asentado en el Inciso VI.1 del presente capítulo, no se dispuso de reportes de incidentes previos en la actividad que nos ocupa, ya que la información existente pertenece a la paraestatal Petróleos Mexicanos y tiene un carácter de reservada. No obstante, se tomaron en cuenta los datos estadísticos disponibles a la hora de realizar el Hazop.

El equipo de análisis de riesgo realizó una revisión de las causas que originan los accidentes potenciales y consideraron cómo podrían ocurrir problemas adicionales, y analizaron si los citados accidentes pudiesen ocurrir otra vez, con el propósito de evitar, o bien mitigar las consecuencias, de accidentes similares. Todas las recomendaciones del equipo que surgieron de estas discusiones se incorporaron al análisis de resultados.

### **Controles de Ingeniería y Administrativos**

La aplicación de las técnicas de análisis usadas en este estudio, **análisis HAZOP y Listas de Verificación**, supone la consideración directa de los controles administrativos y de ingeniería en el ducto, en cuanto a su desempeño para prevenir, detectar y/o mitigar las descargas de gas natural. Este enfoque incluye la postulación de las desviaciones en el proceso (v.g. presión alta) y la discusión sobre las posibles consecuencias que de ellas se derivan. Una de las preguntas subsecuentes que considera el equipo de análisis de riesgo es: ¿Cómo podrían los operadores detectar la desviación y mitigar las consecuencias?

Ejemplos de los tipos de control (o sea, las salvaguardas) que fueron identificadas para las diversas desviaciones incluyen: alarmas de proceso, paros de emergencia e "interlocks", válvulas de alivio y de corte, procedimientos y entrenamiento formales. La columna de salvaguardas en las tablas del HAZOP presenta una lista de los controles específicos que se aplican para cada desviación, de acuerdo con la experiencia y conocimiento del equipo de análisis de riesgo. Esta columna también contiene las referencias a las salvaguardas genéricas de las posibles fugas de gas natural que se mencionan en la tabla correspondiente.

Si en alguno de los casos analizados, el equipo considera que no existían los controles administrativos o de ingeniería adecuados, o que los controles existentes no eran confiables, o que se necesitaban controles adicionales o mejorados para alcanzar los estándares de la mejor práctica de ingeniería, entonces el equipo formula recomendaciones pertinentes.

### **Consecuencias de Falla en los Controles**

La técnica de revisión HAZOP aplicada en el análisis de riesgo implica la documentación de los escenarios de las consecuencias razonables más adversas de incidentes, para lo cual no se considera las salvaguardas existentes. Este enfoque equivale a examinar las consecuencias asociadas a las fallas de los controles de ingeniería y administrativos en los procesos.

Con la documentación de las consecuencias, el equipo de análisis de riesgo se abocó a identificar las salvaguardas existentes que protegen contra dicho escenario. Cuanto más severas son las consecuencias, mayor debe ser la definición de salvaguardas específicas y confiables (esto es, las especificaciones de los controles administrativos y de ingeniería).

### ***Ubicación de las instalaciones y equipos.***

La ubicación de la instalación y equipos se consideró de varias maneras en el análisis de riesgo. El equipo de análisis de riesgo estimó las consecuencias asociadas con un evento en cuanto a la localización del equipo analizado con respecto a otras actividades en el entorno, como centros de población o actividades donde hay concentración de personas, actividades comerciales o de servicios, centros de población, etc. El análisis se complementó con planos de las instalaciones, y con visitas de reconocimiento. Adicionalmente el equipo de análisis de riesgo utilizó una Lista de Verificación para considerar todos los aspectos relevantes de la ubicación de la instalación y los equipos.

### ***Factores Humanos.***

El equipo de análisis de riesgo utilizó la técnica **HAZOP, Listas de Verificación** y la **revisión de algunos procedimientos** previamente seleccionados, para tratar los temas relacionados con los factores humanos. Durante la revisión HAZOP, el equipo de análisis de riesgo consideró cómo algunos errores humanos posibles podían causar alteraciones en las actividades, y estimó si los operadores dispondrían del tiempo, la información y el equipo adecuados para responder adecuadamente a dichas alteraciones (es decir, si los operadores pueden contribuir a prevenir y/o mitigar los accidentes).

### **Otros aspectos de Riesgo Ambiental que fueron considerados para la identificación de riesgos.**

El conocimiento específico de los aspectos de riesgo ambiental por áreas, se llevó a cabo haciendo uso de los siguientes medios:

- Recorridos en la trayectoria del ducto que cumplieron diversos fines: ubicar actividades y/o asentamientos cercanos que pudieran ocasionar puntos de riesgo, verificar, verificar los diagramas de flujo y planos de localización y distribución de equipo para detectar peligros potenciales específicos.
- Ubicación de las áreas de vegetación mejor conservadas y de las zonas de mayor probabilidad de ocurrencia de individuos de fauna de especies de lento desplazamiento.
- Análisis de diagramas de flujo, DTI's y planos de localización y distribución de equipo.
- Se realizaron entrevistas con personas conocedoras de las operaciones, material manejado (gas natural), procedimientos y condiciones de trabajo.
- En virtud de que se trata de un proyecto donde aún no se construye la instalación, el apartado de historial de riesgos no se consideró.

## Riesgos potenciales identificados.

Los riesgos identificados se mencionan a continuación en orden de probabilidad de ocurrencia:

- 1.- Falla en las áreas sensibles del sistema, manifestándose como una fuga de gas.
- 2.- Formación de una nube de gas inflamable y explosivo.
- 3.- Incendio de la nube de gas.
- 4.- Explosión de la nube de gas.

### 1. Fuga de gas natural en la válvula de corte principal (punto de interconexión con el Gasoducto del Bajío de 16")

- a) Fuga a través de la válvula de corte en mal estado
- b) Fuga por ruptura de tubería
- c) Fuga a través de una soldadura defectuosa en el Tap
- d) Falla de equipos debido a vandalismo

### 2. Fuga de gas natural en la caseta de medición y regulación del usuario (dentro del predio de la empresa Villaserre).

- a) Descarga continua de gas natural a través de la válvula de seguridad debido a una falla del regulador o debido a una poco probable sobrepresión en la **tubería de suministro de 4 y 6"** que podría provocar la formación de una nube tóxica, inflamable y explosiva en el cuadro de regulación de la planta industrial.
- b) Fuga a través de una válvula en mal estado
- c) Fuga por ruptura de tubería
- d) Fuga a través de una conexión defectuosa de tuberías
- e) Falla de equipos automáticos de medición y control.

### 3. Fuga de gas natural en un punto de la estructura del gasoducto de acero

- a. Fuga a través de una conexión defectuosa de tubería
- b. Fuga por sobre presión
- c. Fuga por ruptura de tubería
- d. Fuga a través de una válvula en mal estado

### 4. Incendio o explosión debido a:

- a. Corto circuito en la instalación eléctrica
- b. Descontrol de la presión del gas en el cuadro de regulación principal (EMR existente en el punto de interconexión con el gasoducto de 16" de GdB)
- c. Por fuga de gas natural en presencia de una fuente de ignición

**Otros riesgos que pueden incluir fallas en las instalaciones, tendrían relación con:**

- Baja presión en el sistema
- Sobre-presión en el sistema
- Fuego o explosión cerca o directamente relacionada con el gasoducto
- Cualquier fuga considerada peligrosa
- Peligro en un segmento importante del sistema

**Los riesgos también incluyen:**

- Desastres naturales (inundaciones, tornados, huracanes, terremotos, etc.)
- Disturbios civiles (mítines, etc.)
- Condiciones de reducciones de carga (como resultado de reducciones voluntarias u obligatorias en el uso de gas)
- Actos de sabotaje

**a) Fuga de gas.**

La fuga de gas natural se visualiza como una fuga ocurrida en un punto determinado del sistema, y dependiendo del sitio donde se presente sería su toxicidad, ya que por ser un gas comprimido se considera un asfixiante simple porque las altas concentraciones de gas reducen o desplazan el oxígeno disponible lo cual puede llevar a la inconciencia, y causar la muerte por asfixia. En concentraciones muy elevadas, cuando está mezclado con el aire, el **gas natural** es anestésico y posteriormente asfixiante al diluirse o reducirse el oxígeno disponible.

El gas se odorizará antes de su distribución, de manera que tendrá un olor característico y reconocible con facilidad. Esto permitirá detectar por el olor la presencia de gas en concentraciones de sólo un quinto del límite inferior de inflamabilidad (aproximadamente el 0.4% del gas en el aire).

Los escapes importantes también pueden detectarse por un ruido sibilante o la congelación en el área donde se produce el escape.

De esta manera, la fuga se presentaría por daño mecánico de la estructura del gasoducto o de alguno de sus componentes, por fatiga de materiales o por agentes externos. En consecuencia, inicialmente se podría formar una nube tóxica y dependiendo de las condiciones atmosféricas podría llegarse a concentraciones suficientes para la formación de nubes inflamables y/o explosivas, particularmente en el caso de los cuadros de regulación, ya que en ellos la tubería y sus válvulas están expuestas, mientras que **el ducto se encontrará enterrado a 60 centímetros de profundidad a lomo del ducto, cumplimiento con la profundidad mínima establecida en la norma oficial vigente al momento de su construcción.**

Para el análisis anterior, no se toma en cuenta las medidas de seguridad a implementar por la empresa, como el sistema automático de operación, las válvulas de desfogue, o bien la operación manual de las válvulas de bloqueo.

El gasoducto para la empresa **Villaserre, S.P.R. de R.L. de C.V. (Villaserre)** constará de un **sistema de alta presión (350 psi)** conformado por un **gasoducto de acero de 4 y 8"**, de aproximadamente **415 metros** de longitud, y que por el momento **contará con un solo usuario**, de modo que el acceso a las válvulas de corte se encuentra siempre a poca distancia.

Se debe tener presente que la **válvula de bloqueo se localizará en el patín de medición de la Estación de Medición y Regulación en el punto de interconexión con el Gasoductos del Bajío, S. de R.L. de C.V. (GdB) de 16"** (que se interconectará el ducto de Villaserre) contará con un **sistema de cierre automático por baja presión (SLAM-SHUT)** que se activará casi instantáneamente después de presentarse una caída de presión anormal en el sistema, variando el tiempo que puede tardar en activarse dependiendo del punto a lo largo del ducto donde tuviera lugar una fuga, siendo más rápida la respuesta de la misma mientras más cercana se encuentre la fuga con respecto al punto de interconexión.

Por lo antes expuesto, los eventos considerados en las modelaciones para el caso del punto de interconexión deben considerar un **tiempo de fuga máximo de 1 minuto**, para que dichos eventos se apeguen a la realidad.

Las fugas de gas son los eventos de riesgo más frecuentes en este tipo de instalaciones y las causas más comunes que los producen son las siguientes:

- Corrosión interna o externa en la tubería.
- Mala calidad de los materiales de construcción.
- Deficiencias en los procedimientos constructivos como soldadura eléctrica, protección catódica, recubrimiento exterior y pruebas de aceptación (radiográfica e hidrostática), entre otras.
- Deficiencia en el mantenimiento preventivo de las instalaciones superficiales.
- Ocupación indebida del derecho de vía (en el caso del gasoducto).

## **b) Incendio y Explosión.**

La potencialidad de un incendio o explosión existe cuando se ha formado una nube inflamable y/o explosiva como consecuencia de alguna fuga de **gas natural** no detectada y controlada oportunamente, en presencia de una fuente de ignición.

El **gas natural** es incoloro. El gas o vapor es menos denso que el aire y se dispersa fácilmente. No llega a acumularse en espacios confinados y es menos peligroso que el gas L.P. Las mezclas de vapor/aire derivadas de escapes u otras causas pueden inflamarse a cierta distancia del punto de escape, y la llama regresar a la fuente la ignición (retroceso de la flama o flashback).

### **Nubes explosivas**

En caso de que la fuga se provoque por un orificio mediano o por la ruptura parcial o total del ducto y que la masa liberada alcance una fuente de ignición en presencia de oxígeno, ésta explotará generando ondas de sobrepresión causando daños parciales a catastróficos dependiendo del área en que se presenten. En lo anterior, las condiciones atmosféricas juegan un papel importante ya que pueden minimizar los resultados del evento.

El **gas natural** forma mezclas inflamables con el aire en concentraciones que oscilan aproximadamente entre el 5 y el 10%. Por consiguiente, una fuga puede constituir un riesgo de incendio y explosión. Ha habido casos en que escapes de **gas natural** se han inflamado, provocando incendios graves. Si el **gas natural** se escapa en un espacio cerrado y se inflama, se puede producir una explosión. Si un ducto de **gas natural** está en medio de un incendio, puede calentarse excesivamente y romperse con violencia, provocando una bola de fuego de calor intenso y proyectando trozos del recipiente a considerables distancias.

En concentraciones muy elevadas, cuando está mezclado con el aire, el vapor de **gas natural** es anestésico y posteriormente asfixiante al diluirse o reducirse el oxígeno disponible.

Una superficie caliente también es una fuente potencial de ignición.

Los efectos de un incendio sobre las personas son quemaduras de piel por exposición a las radiaciones. Los incendios se producen con más frecuencia que las explosiones y las emanaciones tóxicas, aunque las consecuencias medidas en pérdidas de vidas humanas suelen ser menos graves; por consiguiente podría considerarse que los incendios constituyen un menor peligro que las explosiones y los escapes de sustancias tóxicas.

En caso de que se presente una fuga de material inflamable, el mayor peligro proviene del repentino escape masivo de gas, el cual produce una gran nube de vapor inflamable y posiblemente explosiva. Si la nube se llega a incendiar, los efectos de la combustión dependerán de múltiples factores, entre ellos la velocidad del viento y la medida en que la nube este diluida con el aire. Estos riesgos pueden causar un gran número de víctimas y daños al lugar en donde se producen e inclusive más allá de sus fronteras (zona de influencia).

**Las fuentes de ignición incluyen las siguientes:**

- 1) Flamas, calor directo y superficies calientes
- 2) corte y soldadura
- 3) chispas mecánicas
- 4) energía química
- 5) vehículos
- 6) incendio intencional
- 7) autocalentamiento
- 8) electricidad estática
- 9) equipo eléctrico

**Otras fuentes de ignición pueden ser:**

- 1) Mantenimiento deficiente
- 2) Fallas en el sistema de tierras
- 3) Fenómenos naturales, caída de un rayo, relámpago, etc.

**Antorcha o incendio.**

Posterior a la presencia de una fuga de gas hacia el ambiente que forme una masa menor a 450 kg y a la combinación del oxígeno y una fuente de ignición, se tendrá una antorcha con altura y radio proporcional al orificio.

### **Jerarquizar los riesgos identificados.**

Considerando en su totalidad el sistema de conducción de gas natural (**ducto de acero de 4" y 6"** y cuadros o patines de regulación) **podemos considerar que el riesgo es muy bajo**, dadas las características de inflamabilidad del gas natural, la mediana presión de operación, y los dispositivos de seguridad con que se cuenta para éste tipo de proyectos. La tubería de 4 y 6" por instalar se encontrará en una zona agrícola del **Municipio de Silao de la Victoria**.

Como criterio principal para establecer la jerarquización de los posibles riesgos, se consideró la probabilidad de su acontecimiento a lo largo del gasoducto, para ello se tomaron en cuenta las fallas mecánicas, error humano y las medidas preventivas existentes.

### **Metodología de jerarquización**

#### **JERARQUIZACIÓN DE RIESGOS**

Para la jerarquización de los escenarios de riesgo previamente identificados, tanto en el ducto y las Estaciones de Medición y Regulación, mediante la aplicación de las técnicas de evaluación cualitativas, Lista de Verificación y HazOp, se plantea el uso de una técnica semicuantitativa de riesgo llamada **Matriz de Jerarquización de Riesgo** (CCPs, 1995), o **Índice Global de Riesgo**.

La **Matriz de Jerarquización de Riesgo** relaciona la severidad de los escenarios mediante el uso de índices ponderados de la severidad de las consecuencias (o afectación) y de la probabilidad de ocurrencia del incidente. El **índice de evaluación de la severidad** (Tabla 1), permite identificar la magnitud de las consecuencias en relación con los daños probables tanto a la salud como a la economía de la instalación, y obtener un índice de todos los riesgos potenciales a los que está sujeto. Por otro lado, la frecuencia de ocurrencia de un incidente (Tabla 2), depende directamente del nivel de protección del equipo, así como del historial de la frecuencia de fallas que funjan como eventos iniciantes en el desarrollo de los escenarios evaluados.

La técnica utiliza **índices de frecuencia**, los cuales, al ser combinados en una matriz, generan un **índice Global de Riesgo**.

Se ha comprobado que esta técnica es una herramienta efectiva para el análisis cuantitativo de riesgos en muchas instalaciones de la industria del petróleo y del gas; además, el uso apropiado de ésta permitirá disponer de sus recursos de manera efectiva en la prevención de los riesgos más importantes (v.gr., riesgos inaceptables), que amenazan la seguridad del personal, la población, el medio ambiente, la producción y la instalación.

A continuación se describen los índices y la matriz de evaluación:

**Tabla 1.- Índice de Gravedad (o de Severidad) de las consecuencias.**

ÍNDICE DE GRAVEDAD		
Categoría	CONSECUENCIA	Descripción
1	Ligera	No hay heridas / daños mínimos a propiedades y pérdidas de producción menores USD \$ 10,000,00
2	Moderada	Heridas ligeras / daños menores a propiedades y pérdidas de producción entre USD \$ 10,000,00 y USD \$ 100,000,00
3	Severa	Heridas múltiples / daños mayores a propiedades y pérdidas de producción entre USD \$ 100,000,00 y USD \$ 1'000,000,00
4	Catastrófica	Fatalidad / daños irreversibles y pérdidas de producción mayores a USD \$ 1'000,000,00

Fuente: JBF Associates, Inc., Knoxville, TN. (CCPs, 1995)

**Tabla 2.- Índice de Frecuencias del escenario**

ÍNDICE DE FRECUENCIA			
Categoría	FRECUENCIA	Descripción	
1	Extremadamente Raro	No se espera que ocurra durante el tiempo de vida de la instalación	Ocurre una vez en 100 años
2	Raro	Se espera que ocurra no más de una vez en la vida de la instalación	Ocurre una vez entre 10 y 100 años
3	Poco Frecuente	Se espera que ocurra más de una vez durante el tiempo de vida de la instalación.	Ocurre una vez entre 1 y 10 años
4	Frecuente	Se espera que ocurra más de una vez por año	Ocurre más de una vez en 1 año

Fuente: JBF Associates, Inc., Knoxville, TN. (CCPs, 1995)

La **matriz que jerarquiza los riesgos resultantes** se muestra en la Tabla 3. La interpolación de los valores de **frecuencia** con los correspondientes de **consecuencia** nos da un valor de riesgo (**Índice de Riesgo** o **Nivel de Riesgo**) mediante el cual sabemos si tiene una categoría que va de aceptable a inaceptable según se muestra en la Tabla 4.

La **jerarquización del riesgo** está en función de la combinación de los dos factores establecidos, considerando que, a **mayor calificación, mayor riesgo** y viceversa, determinándose de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 3.- Matriz de Jerarquización de Riesgos**

MATRIZ DE JERARQUIZACIÓN DE RIESGOS						
ÍNDICE PONDERADO DE RIESGO			CONSECUENCIA			
			Ligera	Moderada	Severa	Catastrófica
			1	2	3	4
FRECUENCIA	Frecuente	4	IV	II	I	I
	Poco Frecuente	3	IV	III	II	I
	Raro	2	IV	IV	III	II
	Extremadamente Raro	1	IV	IV	IV	III

Fuente: CCPs (1995)

Finalmente, el **índice ponderado de riesgo**, Tabla 4, nos permite jerarquizar las áreas de proceso que requieren de acciones correctivas urgentes o bien, interpretar el riesgo asociado de la instalación con sus posibles efectos.

**Tabla 4.- Índice Ponderado de Riesgo (IPR)**

ÍNDICE DE RIESGO		
Categoría	RIESGO	DESCRIPCIÓN
IV	<b>Razonablemente Aceptable</b>	<p><b>Riesgo generalmente aceptable. No se requieren medidas de mitigación y abatimiento.</b></p> <p>El riesgo requiere control, pero es de bajo impacto y puede programarse su atención conjuntamente con otras mejoras operativas.</p>
III	<b>Aceptable con controles</b>	<p><b>Se debe revisar que los procedimientos de ingeniería y control se estén llevando a cabo en forma correcta</b> y en su caso modificar los procedimientos de control del proceso. Las medidas de solución para atender los hallazgos deben darse en los próximos 18 meses. La mitigación debe enfocarse en la disciplina operativa y en la confiabilidad de los sistemas de protección</p> <p>El riesgo es significativo, pero se pueden compensar con las acciones correctivas en el paro de instalaciones programado, para no presionar programas de trabajo y costos..</p>
II	<b>Indeseable</b>	<p><b>Se deben revisar tanto procedimientos de ingeniería como administrativos y en su caso modificar los procedimientos y controles en un periodo de 3 a 12 meses.</b></p> <p>El riesgo debe ser reducido y hay margen para investigar y analizar a más detalle. No obstante, la acción correctiva debe darse en los próximos 90 días. Si la solución se demora más tiempo, deben establecerse controles temporales inmediatos en sitio, para reducir el riesgo.</p>
I	<b>Inaceptable o Intolerable</b>	<p><b>Se deben revisar tanto procedimientos de ingeniería como administrativos, y en su caso modificar los procedimientos y controles, en un periodo de 3 a 6 meses.</b></p> <p>El riesgo requiere acción inmediata; el costo no debe ser una limitación y el no hacer nada no es una opción aceptable. Un riesgo Tipo "I" representa una situación de emergencia y deben establecerse controles temporales inmediatos. La mitigación debe hacerse por medio de controles de ingeniería y/o factores humanos hasta reducirlo a Tipo III o de preferencia a Tipo IV, en un lapso de tiempo menor a 90 días.</p>

Fuente: JBF Associates, Inc., Knoxville, TN. (CCPs, 1995)  
 Procedimiento para realizar Análisis de Riesgos de Proceso en PEMEX Exploración y Producción  
 PG-SS-TC-003-2007, y NRF\*-018-PEMEX-2007

Esta tabla 4, nos permite jerarquizar los eventos de riesgo identificados que requieren de acciones correctivas urgentes o bien, interpretar el riesgo de la instalación con sus posibles efectos.

El procedimiento de identificación y jerarquización de riesgos y determinación de consecuencias antes descrito, fue utilizado para el proyecto "GASODUCTO VILLASERRE".

En una primera instancia se llevó a cabo la identificación de riesgos como se muestra en el **Anexo 7: Aplicación de la Metodología de Identificación de Riesgos HAZOP (Hazard and Operability Analysis)**.

Como criterio principal para establecer la jerarquización de los posibles riesgos, se consideró la probabilidad de su acontecimiento a lo largo del **ducto**, la **Estación de Medición y Regulación en el punto de interconexión**, y de su **Estación de Medición en el predio del usuario**, para ello se tomaron en cuenta las fallas mecánicas, error humano y las medidas preventivas existentes.

Para la elaboración de la **Matriz de Jerarquización de Riesgos del proyecto**, se evaluaron las desviaciones obtenidas en la técnica de identificación de Riesgos **Hazop**. Donde se le asignó una frecuencia de ocurrencia y una severidad o consecuencia tomando en cuenta tanto las medidas de seguridad con que cuenta la instalación, como las recomendaciones de la técnica de jerarquización antes descrita. De esta manera se pudieron identificar las situaciones que presentan mayor índice de riesgo. La matriz de jerarquización de riesgos se presenta en el **Anexo 7**.

Basándose en los resultados del análisis de riesgo cualitativo, el equipo debe seleccionar casos de accidentes (escenarios), que representen el mayor riesgo, para llevar la Matriz de Jerarquización de Riesgos, con el propósito de jerarquizar y determinar los escenarios que se consideren importantes para la simulación de consecuencias

La selección de estos escenarios se hace con base en las consecuencias de interés de la desviación "**Fuga o Ruptura**" de cada una de las secciones del proceso en cuestión. Es decir, cada una de las consecuencias de interés listadas en la columna de consecuencias de la tabla HAZOP, de la desviación correspondiente a "Fuga o Ruptura" de cada una de las secciones, representan los escenarios que deben ser seleccionados para ser analizados en la jerarquización.

Para poder cuantificar cada parte del sistema y obtener como conclusión, su jerarquización, no se han considerado las medidas de seguridad que tendrá cada parte del sistema; ya que para minimizar los riesgos, en la parte correspondiente a medidas de seguridad, se indican todas aquéllas que se han considerado dentro del proyecto y las que se tendrían que implementar para conseguir una instalación y operación segura, se pueden ver con más detalle el HAZOP en el **Anexo 7**.

Una vez identificados los riesgos potenciales mediante la aplicación de la metodología HazOp, se procede a elaborar la **Matriz de Jerarquización de Riesgos** de los eventos identificados en el presente proyecto de la siguiente manera:

**Tabla 5.- Matriz de Jerarquización de los principales Riesgos del Gasoducto Villaserre**

Núm. Evento	Desviación	Nodo o etapa	Posibles Causas	Consecuencia	Frecuencia	Índice de riesgo
6	No flujo	Interconexión-EMR	Fractura o ruptura total de la tubería de interconexión de 4" por impacto externo (fenómeno natural o un acto de sabotaje)	4	1	4
8	Menos flujo	EMR	Fuga por desgaste o mal estado de válvulas y conexiones en patín de medición y regulación	2	3	6
9	Menos flujo	EMR	Fuga por poro de corrosión (externa o interna) en patín de medición y regulación	2	2	4
10	Menos flujo	EMR	Fuga por soldadura defectuosa en patín de medición y regulación	2	2	4
12	Menos flujo	EMR	Fuga por conexión deficiente del sistema de tuberías de conducción en patín de medición y regulación	1	1	1
15	Menos flujo	Interconexión-EMR	Fractura o ruptura parcial de tubería en la tubería de interconexión de 4", por golpe accidental de una pala mecánica	3	2	6
16	Menos flujo	Interconexión-EMR	Fuga por soldadura defectuosa en la tubería de interconexión de 4"	3	3	9
17	Menos flujo	Interconexión-EMR	Fuga por poro de corrosión (externa o interna) en la tubería de interconexión de 4"	3	2	6
18	Menos flujo	EMR	Fisura o ruptura parcial de tubería en patín de medición y regulación	2	1	2
21	Menos flujo	Interconexión-EMR	Fuga por impacto externo, corrosión o falla de integridad mecánica en el ducto de 16" de Gasoductos del Bajío	3	3	9
27	No presión	Interconexión-EMR	Fractura o ruptura total de la tubería de interconexión de 4", por impacto externo (fenómeno natural o un acto de sabotaje).	4	1	4
30	Menos presión	EMR	Fuga por poro de corrosión (externa o interna) en patín de medición y regulación	2	2	4
34	Menos presión	Interconexión-EMR	Fuga por actos de Sabotaje en el ducto de 16" del transportista Gasoductos del Bajío	4	1	4
45	Menos flujo	GASODUCTO	Fractura o ruptura parcial de la tubería aguas abajo del sistema, por un agente externo (golpe accidental de pala mecánica)	3	2	6
46	Menos flujo	GASODUCTO	Fractura o ruptura total de la tubería aguas abajo del sistema, por un fenómeno natural o por un acto de sabotaje	4	1	4
47	Menos flujo	GASODUCTO	Fuga menor por soldadura defectuosa en un tramo del ducto de 6 y 4"	3	3	9
48	Menos flujo	GASODUCTO	Fractura o ruptura parcial de tubería aguas abajo del sistema, por golpe accidental de una pala mecánica	3	2	6
50	Menos presión	GASODUCTO	Fuga por soldadura defectuosa en un tramo del ducto de 6 y 4"	3	3	9
51	Menos presión	GASODUCTO	Fractura o ruptura total de la tubería aguas abajo del sistema, por fenómeno natural o por un acto de sabotaje	4	1	4
56	Otras-Corrosión	GASODUCTO	Fuga por poro de corrosión (externa o interna) en el gasoducto de 4 y 6", debido a la presencia o exceso de agentes precursores de la corrosión en el medio ambiente (suelos ácidos, presencia de líneas de alta tensión, construcciones, etc.)	1	1	1
57	No flujo	CASETA USUARIO	Ruptura total del ducto de 6 y 4" por impacto externo o sabotaje (aguas arriba)	4	1	4
61	Menos flujo	CASETA USUARIO	Fuga por impacto externo, corrosión o falla	3	2	6

Proyecto: "Gasoducto Villaserra"

Núm. Evento	Desviación	Nodo o etapa	Posibles Causas	Consecuencia	Frecuencia	Índice de riesgo
			<b>de integridad mecánica en el ducto de 6 y 4" (aguas arriba)</b>			
63	No presión	CASETA USUARIO	Ruptura total del ducto de 4 y 6" por impacto externo o sabotaje (aguas arriba)	4	1	4
65	Menos presión	CASETA USUARIO	Fuga por <b>corrosión, brida o junta en mal estado</b> , en el patín de medición y regulación de la caseta del usuario	2	2	4
66	Menos presión	CASETA USUARIO	Fuga por <b>soldadura defectuosa en el patín de medición y regulación de la caseta del usuario</b>	2	2	4
68	Menos presión	CASETA USUARIO	Fuga por <b>impacto externo, corrosión o falla de integridad mecánica en el ducto de 6 y 4"(aguas arriba)</b>	3	2	6
69	Menos presión	CASETA USUARIO	Fuga por <b>impacto externo (choque de un tráiler de carga)</b> en la caseta de medición y regulación del usuario	3	1	3

Estos eventos (27 en total) se agrupan de la manera siguiente:

**A) En el Gasoducto de 4 y 6":**

- **Evento 56:** Fuga por orificio causado por corrosión interna y/o externa en el ducto de 4 y 6"
- **Eventos 47, y 50:** Fuga por soldadura defectuosa en el ducto de 4 y 6"
- **Eventos 45, 48, 61, y 68:** Fuga por orificio o ruptura causado por golpe externo en el ducto de 4 y 6"
- **Eventos 46, 51, 57 y 63:** Rotura total por un acto de sabotaje del ducto de 4 y 6".

**B) En la Estación de Medición y Regulación del punto de interconexión:**

- **Evento 9 y 30:** Fuga por orificio causado por corrosión interna y/o externa en el patín de medición y regulación principal
- **Evento 10:** Fuga por soldadura defectuosa en el patín de medición y regulación principal
- **Eventos 8, y 12:** Fuga por desgaste o mal estado de válvulas y conexiones en el patín de medición y regulación principal
- **Evento 18:** Fuga por fisura o ruptura parcial de tubería en el patín de medición y regulación principal

**C) En la Caseta de Medición y Regulación del usuario:**

- **Evento 65:** Fuga por orificio causado por corrosión, brida o junta en mal estado en la caseta de medición y regulación del usuario
- **Evento 66:** Fuga por soldadura defectuosa en la caseta de medición y regulación del usuario
- **Evento 69:** Fuga por impacto externo (choque de un tráiler de carga) en la caseta de medición y regulación del usuario

**D) En el tramo de tubería de interconexión de 4" (entre la EMR y el ducto de Gasoductos del Bajío):**

- **Evento 17:** Fuga por orificio causado por corrosión interna y/o externa en la tubería de interconexión de 4"
- **Evento 16:** Fuga por soldadura defectuosa en la tubería de interconexión de 4"
- **Evento 15:** Fuga por orificio o ruptura causado por golpe externo en la tubería de interconexión de 4"
- **Evento 6 y 27:** Rotura total por un acto de sabotaje en la tubería de interconexión de 4".

**E) En el Gasoducto de 16" de Gasoductos del Bajío:**

- **Evento 21:** Fuga por impacto externo, corrosión o falla de integridad mecánica en el gasoducto de 16" del transportista.
- **Evento 34:** Fuga por actos de sabotaje en el gasoducto de 16" del transportista.

Los eventos de los incisos D (tubería de interconexión) y E (gasoducto del transportista), aunque repercuten en la operación y seguridad del gasoducto de Gas Natural Potosino, no son parte del alcance del presente proyecto, porque al ser infraestructura que es propiedad de terceros (o como el caso de la tubería de interconexión, que pasa a ser parte de los activos del transportista), la empresa promovente no tiene acceso a los sistemas de control y de seguridad de dicho sistema.

La jerarquización de riesgos, permitió presentar un **total de 74 fallas**, de las cuales 44 son en la Estación de Medición y Regulación del punto de interconexión, 12 para el ducto de gas natural de 6 y 4" de diámetro, y 18 fallas en la Caseta de Medición y Regulación del usuario.

De éstas, 56 corresponden a un nivel de riesgo IV, el cual es Aceptable; 14 son de un nivel de riesgo III, Aceptable con Controles, pero debiendo revisar los procedimientos de ingeniería y control, así como realizar la operación en forma correcta; y solamente 4 se consideran como pertenecientes a un nivel de riesgo II, Indeseable. No se detectaron fallas de nivel de riesgo I, Inaceptables.

Cabe señalar, que cualquiera de estas desviaciones puede ser tomada en cuenta en la cuantificación de eventos.

De acuerdo con estas posibles desviaciones, para efectos de modelación se consideraron **seis casos o escenarios**: tres potenciales fallas en el ducto de distribución de gas natural, una en la Estación de Medición y Regulación del punto de interconexión y una en la Caseta de Medición y Regulación del usuario.

Las fallas o desviaciones más relevantes encontradas para todos los eventos identificados para el proyecto mediante la metodología de identificación de riesgo se presentan en la Tabla 6, donde se agrupan de acuerdo con el **Índice Ponderado de Riesgo** obtenido.

Tabla 6.- Matriz de jerarquización de riesgos

MATRIZ DE JERARQUIZACIÓN DE RIESGOS						
ÍNDICE PONDERADO DE RIESGO		CONSECUENCIA				
		Ligera	Moderada	Severa	Catastrófica	
		1	2	3	4	
FRECUENCIA	Frecuente	4				
	Poco Frecuente	3	14, 22, 24, 29, 37, 44, 58, 59, 62	8	16, 21, 47, 50	
	Raro	2	2, 3, 5, 7, 13, 19, 20, 25, 26, 28, 31, 32, 33, 35, 36, 43, 60, 64, 73, 74	9, 10, 30, 65, 66	15, 17, 45, 48, 61, 68	
	Extremadamente Raro	1	1, 4, 11, 12, 23, 39, 40, 42, 49, 52, 53, 54, 55, 56, 67, 70, 72	18, 38	41, 69, 71	6, 27, 34, 46, 51, 57, 63

Fuente: CCPs (1995)

El valor de riesgo (Índice Ponderado de Riesgo) en que cae cada uno de los riesgos identificados para el proyecto **GASODUCTO VILLASERRE** es el que se muestra en la tabla 7 siguiente.

**Tabla 7.- Agrupación de eventos considerados de acuerdo al nivel Índice de Riesgo Ponderado obtenido para el proyecto GASODUCTO VILLASERRE**

Categoría	Riesgo
1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 49, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 62, 64, 65, 66, 67, 69, 70, 71, 72, 73, 74	Aceptable
6, 8, 15, 17, 27, 34, 45, 46, 48, 51, 57, 61, 63, 68	Aceptable con controles
16, 21, 47, 50	Indeseable
-	Inaceptable

Los **Riesgos Aceptables** son aquellos que no requieren de ninguna medida correctiva inmediata y que en caso de llegar a presentarse ocasionan problemas de fácil y rápida solución. Son casos que se pueden considerar como un evento aceptable teniendo los instrumentos de medición adecuados y tomando las medidas necesarias como mantenimiento preventivo entre otras.

Los **Riesgos Aceptables con Controles** son los que requieren de una medida de atención a mediano plazo, por lo que deberán ser corregidos mediante programas calendarizados. En este tipo de casos se deben revisar y en su caso modificar los procedimientos de control del proceso así como llevar a cabo los programas de mantenimiento preventivo y correctivo.

Finalmente, los **Riesgos de la Categoría de Indeseable** se consideran los eventos máximo probables y son los que se utilizan para la determinación de consecuencias del proyecto. Son los que presentan mayor consecuencia como lesiones serias o leves por objetos proyectados.

De acuerdo a la aplicación de la metodología **HAZOP** y de la **matriz de riesgo**, y haciendo una reagrupación de los principales eventos potenciales, además de la experiencia en proyectos en operación, a continuación se presentan los grupos de eventos que serán considerados:

- **Caso 1:** Fuga a través de un orificio de 1/4" en la caseta de medición y regulación del punto de interconexión
- **Caso 2:** Fuga a través de un orificio de 1.2" en el ducto de acero de 6"
- **Caso 3:** Fuga a través de un orificio de 2" en el ducto de acero de 4"
- **Caso 4:** Fuga por ruptura total del ducto de acero de 4"
- **Caso 5:** Fuga a través de un orificio de 0.5" en el ducto de acero de 4"
- **Caso 6:** Fuga a través de un orificio de 1/4" en la caseta de medición y regulación del usuario

Cabe resaltar que a mayor diámetro de fuga, menor la posibilidad de que se presente y viceversa.

Como medidas preventivas generadas como resultado del análisis de peligro y operabilidad, podemos destacar las siguientes:

- Cumplir adecuadamente con el procedimiento de aseguramiento de calidad durante la fabricación y construcción.
- Cumplir adecuadamente con el programa de mantenimiento anticorrosivo al **gasoducto**.
- Cumplir adecuadamente con el programa de mantenimiento a las válvulas de corte y a la instrumentación asociada a cada una de ellas.
- Mantener actualizado el plan de respuesta de Emergencia.

Siempre existe la posibilidad de que se llegue a presentar una fuga debido a la presencia de un poro formado en el cuerpo del material por corrosión interna o debido a corrosión externa.

Cuando está presente el fenómeno de la corrosión, el material sufre un ataque químico y comienza a perder espesor hasta que aparece un poro por donde empieza a escapar el gas; al principio en forma de burbujas y después el escape se hace visible por un flujo de gas cada vez mayor debido al ensanchamiento del poro por la presión que ejerce el material que se maneja en el sistema. Para que ocurra este fenómeno es necesario que el suelo presente condiciones favorables para que falle el recubrimiento y que además no haya supervisión y no se aplique el mantenimiento correspondiente, lo cual es poco factible que ocurra en el presente caso.

No obstante, lo anterior, realizaremos una corrida de simulación de riesgos considerando una fuga de material debido a corrosión interna y/o externa, a través de un orificio de ½" la cual es aplicable para cualquier sección, equipo o elemento del sistema. El objeto es conocer cual sería el posible radio de afectación a lo largo del ducto en caso de que se omita el mantenimiento a las instalaciones.

Asimismo, existen otros eventos que se refieren a fugas por cambios en la presión. Para esta eventualidad también se llevará a cabo una corrida simulando que el gas natural alcanza una presión en el sistema mayor a la de diseño que es la condición para que se presente ruptura mayor del ducto. En adición a este criterio se tomará un valor de diámetro de orificio de fuga equivalente al 20% del diámetro total de la línea en congruencia con lo que se recomienda en la *Guía para Elaboración de Estudios de Riesgo* de la DGIRA.

Las desviaciones ponderadas con una magnitud de riesgos inaceptables son las desviaciones de fuga/ruptura para cada uno de los nodos analizados, que aunque de baja frecuencia son de alta consecuencia. Dentro de las causas probables planteadas para un evento de fuga/ruptura están: Golpe externo por trabajos de excavación de terceros, poros de corrosión, fallas de integridad mecánica, defectos en las soldaduras, desgaste o mal estado de válvulas y conexiones, condiciones climatológicas adversas, actos de sabotaje.

Independientemente que el ducto se encuentra protegido mediante válvulas de corte manual y una válvula SLAM-SHUT de corte automático que minimizan la cantidad de material a liberarse al medio ambiente, la empresa cuenta con una supervisión continua de las instalaciones, procedimientos de construcción y de operación, que disminuyen la posibilidad de un golpe. Con respecto a la corrosión, el ducto estará diseñado contemplando la tasa esperada de disminución de espesor por corrosión externa y con el material adecuado a los componentes con características corrosivas. Con respecto a la integridad mecánica de la tubería, se realizarán periódicamente estudios de integridad del ducto. Y con respecto a los posibles problemas por desgaste o mal estado de válvulas y conexiones, se llevará a cabo un estricto programa de mantenimiento preventivo tanto del ducto como de sus casetas de medición y regulación.

### **IDENTIFICACIÓN DE EVENTO MÁXIMO PROBABLE Y CATASTRÓFICO.**

Los **eventos máximo probables** son aquellos que tienen la más alta probabilidad de llegar a presentarse de todos los eventos identificados y una afectación que va de baja a moderada; mientras que el **evento máximo catastrófico** es el que tiene el mayor potencial de afectación y una probabilidad casi nula o muy baja de llegar a presentarse.

Su utilidad es de carácter comparativo y analítico sobre todo con respecto a evidenciar la compatibilidad del proyecto con los instrumentos jurídicos de regulación de usos de suelo y áreas con elementos ambientales relevantes, aportando además, información para la planeación y/o regulación sobre usos del suelo cuando los proyectos son aprobados.

Los eventos de **riesgo máximo probable** considerados son eventos tipo y aplican para todo el **ducto** por lo que basta sobreponer el distanciamiento que define la zona de alto riesgo en un punto dado, para saber cuál es la zona de afectación para ese punto que se considere.

Analizando los eventos que pudieran suscitarse y las metodologías antes mencionadas, se determina lo siguiente:

#### ***Eventos máximos probables:***

Son los eventos cuya probabilidad es de un valor muy representativo pero sus consecuencias tienden a ser mínimas. Los eventos identificados que cumplen con estas características, ya que combinan la posible falla por error humano y la presencia de fracturas en ductos son:

- **Caso 1:** Fuga de gas natural a través de un orificio de 1/4" en la caseta de medición y regulación del punto de interconexión, debido a una **junto o brida en mal estado** del patín de medición y regulación.
- **Caso 2:** Fuga de gas natural a través de un orificio de 1.2" (equivalente al 20% del diámetro de la tubería) en el gasoducto de acero de 6", debido a un **golpe de una pala mecánica**.
- **Caso 3:** Fuga de gas natural a través de un orificio de 2" (equivalente al 50% del diámetro de la tubería) en el ducto de acero de 4", debido a una **soldadura defectuosa**.

- **Caso 5:** Fuga de gas natural a través de un orificio de 0.5" en el ducto de acero de 4", debido a un **poro de corrosión interna y/o externa** en la tubería.
- **Caso 6:** Fuga de gas natural a través de un orificio de 1/4" en la caseta de medición y regulación del usuario, debido a una **junto o brida en mal estado** del patín de la caseta de medición y regulación del usuario.

#### **Evento catastrófico:**

Es el evento cuya probabilidad es mínima y de consecuencias catastróficas. La situación que cumple con estas características lo representa el siguiente evento:

- **Caso 4:** Fuga mayor de gas natural por ruptura total del gasoducto de acero de 4" debido a un acto de sabotaje, golpe accidental o fenómenos naturales

## **II. Descripción de las zonas de protección en torno a las instalaciones**

### **1.1 Radios Potenciales de Afectación**

Los análisis de consecuencias y riesgos, consisten en generar situaciones de riesgo o los denominados posibles escenarios de riesgo. En la simulación de los peores escenarios no se consideró intencionalmente ninguna de las medidas de seguridad con que se cuenta (sistemas de control y mecanismos o procedimientos de respuesta) con el fin de visualizar el grado de afectación que tendría lugar en cada uno de los eventos máximos catastróficos considerados durante la modelación.

El análisis de riesgo se efectuó considerando los siguientes aspectos: la naturaleza del proceso, las características físico-químicas del **gas natural** a utilizar; las características de manejo y las condiciones de operación.

Para conocer los radios de afectación de cada uno de estos eventos existe una gran variedad de métodos de cálculo que ya se han tecnificado y se presentan como modelos de simulación de riesgos computarizados. Dentro de estos modelos se puede mencionar como los más comúnmente utilizados los programas: ALOHA, SCRI, PHAST, ARCHIE, ETC.

La selección del modelo dependerá de diversos factores como los costos, la precisión de los resultados que ofrece cada programa, etc.

Los resultados obtenidos tienen variación de un modelo a otro, pero cuando se utilizan variables precisas estos distanciamientos se homogenizan en cierta medida, por lo que más que el modelo, lo importante es utilizar los datos más parecidos a los que se presentarían en caso de una falla fortuita.

### **Evaluación de Consecuencias.**

Una vez **identificados y jerarquizados estos riesgos**, se simulan en forma matemática por medio del software Una vez determinados los riesgos, definidos como escenario de accidentes o escenario accidentales más significativos de la instalación bajo estudio, se deberá evaluar el alcance de las consecuencias derivadas de los mismos.

Para elaborar las simulaciones y el análisis de consecuencias del presente estudio, se seleccionó el programa ARCHIE (**Automated Resource for Chemical Hazard Incident Evaluation**), versión 1.0 de Microsoft Corp. 1982-1986; este Software fue producido por Hazmat America, Inc., y fue aprobado para su distribución por la Federal Emergency Management Agency (FEMA), el U. S. Department of Transportation (DOT), y ha sido aceptado por OSHA (Ocupacional Safety and Health Administration) y USEPA (United States Environmental Protection Agency), y la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Este software considera los criterios del Instituto Americano de Ingenieros Químicos de U.S.A., AIChE y del Banco Mundial, y también predice las huellas de radiación térmica y sobrepresiones, resultando muy útil en la evaluación del impacto de liberaciones accidentales, en el diseño de planes de respuesta a emergencias e implementando programas de entrenamiento.

Dicho software nos permitió delimitar las zonas de riesgo y amortiguamiento de cada uno de los eventos supuestos

El ARCHIE es un programa de simulación que calcula y predice la dispersión y concentración de plumas de gases provenientes de la liberación de sustancias químicas; así como también los alcances por radiación térmica y ondas de sobrepresión debidas a nubes de vapor inflamables o a fallas mecánicas de recipientes a presión.

Para llevar a cabo la modelación, se requiere que sean definidas las condiciones de la fuga, la sustancia química liberada, así como las condiciones meteorológicas en el sitio donde ocurre la fuga. Una fuga puede ser descrita como instantánea o continua, contenida o no, en fase líquida o gaseosa, y puede dar origen a un incendio de charco, boiling liquid expanding vapor explosion (BLEVE) o dardo de fuego (jet fire).

Mediante este paquete se asignan parámetros que caracterizan al evento y se efectúa la modelación de consecuencias considerando dispersión atmosférica, inflamabilidad y toxicidad en su descarga hacia la atmósfera.

El fundamento matemático y científico del citado simulador, así como las instrucciones para su utilización están contenidos en el Software correspondiente. Ver resumen de simulación, contenido en el **Anexo No. 7**.

Es importante señalar que las simulaciones que se presentan fueron realizadas observando las condiciones climatológicas y meteorológicas extremas del sitio de estudio (*capítulo IV de la Manifestación de Impacto Ambiental*), así como las propiedades específicas de la sustancia estudiada. La importancia de esta observación radica en el hecho de que, en caso de presentarse alguno de los eventos definidos, no significa que se presentará el comportamiento que se determinó con la simulación, ya que las condiciones pueden ser completamente diferentes y pueden generar situaciones de menor riesgo.

Juegan un papel importante entre los criterios a observar en la evaluación de riesgo ambiental, el establecimiento de parámetros de medición mediante los cuales se fijan valores tope que permitan salvaguardar la salud de quienes se encuentran en los alrededores de instalaciones de alto riesgo, así como proteger sus bienes.

En lo relativo a afectación por riesgo de actividades en las cuales se utilizan sustancias con características explosivas, tal es el caso del proyecto para la determinación de la **zona de alto riesgo**, se establece como parámetro de afectación las **ondas de sobrepresión de 0.070 Kg/cm<sup>2</sup> (1 PSIG)**, tomando como zona de afectación, el área de un círculo con un radio que considera la distancia desde el punto donde se puede formar la nube explosiva y cuyo extremo representa la distancia a la cual se tiene una onda con valor equivalente a dicha sobrepresión.

Para el establecimiento de la **zona de amortiguamiento**, se establece como parámetro de afectación **0.035 Kg/cm<sup>2</sup> (0.5 PSIG)**, tomando como zona de afectación, el área de un círculo con un radio que considera la distancia desde donde se encuentra el punto de formación de la nube explosiva y cuyo extremo representa la distancia a la cual se tiene la citada onda de sobrepresión.

Para definir y justificar las zonas de seguridad entorno al proyecto, se aplicaron los criterios establecidos por la propia *Guía para la presentación del Estudio de Riesgo Ambiental, Nivel 0, Ductos Terrestres*, expedida por la Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Octubre, 2002), los cuales se muestran en la siguiente Tabla.

Criterios de zonas de seguridad

	<b>ALTO RIESGO</b>	<b>AMORTIGUAMIENTO</b>
Explosividad (sobre presión)	0.070 Kg/cm <sup>2</sup> (1 psig)	0.035 Kg/cm <sup>2</sup> (0.5 psig)
Inflamabilidad (radiación térmica)	5 KW/m <sup>2</sup>	1.4 KW/m <sup>2</sup>
Nubes inflamables	Concentración LFL	Concentración ½ LFL
Dardos de fuego	Longitud de los dardos de fuego	Distancia de separación segura

Adicionalmente se recurrió a la aplicación de ecuaciones utilizadas para estimación de los parámetros de riesgo, ecuaciones citadas en la publicación "*Control de Riesgo de Accidentes Mayores*" editado por la Organización Internacional del Trabajo OIT, basadas a su vez en datos del Banco Mundial, así mismo también citadas en diversos textos y artículos técnicos de análisis de riesgo.

Los criterios de protección en la evaluación de riesgos que establece la SEMARNAT, se definen a continuación:

**Zona de Riesgo:**

Es la zona de restricción total en la que no se debe permitir ningún tipo de actividad, incluyendo los asentamientos humanos y la agricultura, con excepción de actividades de forestación, el crecimiento de la misma así como el asentamiento de vigilancia.

*Zona de Amortiguamiento:*

Es la zona donde se pueden permitir determinadas actividades productivas que sean compatibles con la finalidad de salvaguardar a la población y al medio ambiente, restringiendo el crecimiento de la población ahí asentada y capacitándola en los Programas de Emergencia que se realicen para tal efecto.

En la presente obra, para la **identificación de los escenarios de riesgo** se consideró lo siguiente.

- a) El diámetro del orificio que se forma en la tubería, principalmente por efectos de la corrosión (en la tubería del patín de medición), es variable aunque se considera que el de mayor frecuencia que puede presentarse es de 1.27 cm (0.5").
- b) El desgaste de la tubería por corrosión (en el punto de interconexión) es más acentuado en tramos subterráneos, ello debido a que en tramos superficiales y en la interfase superficie-subsuelo, puede monitorearse su efecto con mayor frecuencia u oportunidad y aplicarse mantenimiento preventivo y correctivo
- c) En caso de formación de orificios en tramos de tubería superficial, ello ocasionado por **golpes accidentales**, el diámetro de mayor frecuencia es de 1.27 cm (0.5"). **En este caso se utiliza un valor de 2"**.

Por otra parte, se consideran las siguientes **condiciones para efectuar la simulación del riesgo**.

- a) Las propiedades físicas y químicas del gas combustible que se transporta, permanecen constantes con respecto al tiempo.
- b) Para esta zona geográfica, la velocidad del viento se consideró de 4.5 mph.
- c) Bajo condiciones atmosféricas sin gran perturbación, y considerando la combinación de velocidad del viento y radiación solar y/o nubosidad, la estabilidad atmosférica es de tipo "B" y "F", moderadamente inestable y moderadamente estable.
- d) El volumen del fluido fugado por el orificio que se forma se estimará mediante la fórmula de Darcy para descarga de fluidos comprensibles.
- e) El tiempo durante el cual el fluido se fuga está en función del tiempo de la detección y control del evento. Este caso se considera **un tiempo máximo de 1 minuto**, por la presencia de una **válvula SLAM SHUT** de cierre automático.

Una vez identificados y jerarquizados los riesgos, se simularon en forma matemática por medio del software **ARCHIE versión 1.0** de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA), utilizando los siguientes criterios específicos:

1. Para fugas por orificios, se considera que el flujo es a través de un orificio de forma regular y de un diámetro equivalente determinado.
2. Las conexiones de instrumentos, puntos posibles de fuga, varían desde 1/8" hasta 1" de diámetro; sin embargo, como condición crítica se utiliza el límite mayor del orificio. En fracturas de válvulas, se considera 1" de diámetro de fuga en tuberías menores y 3" en tuberías mayores. **En base a la experiencia, se ha determinado como más probable un orificio de 1/8" en el patín de medición y regulación del punto de interconexión, y un orificio de 2" provocado por un golpe mecánico en alguna parte del ducto.**
3. Para la determinación de la tasa máxima de descarga por rotura de tubería, se considera el diámetro de la tubería como caso más crítico.

4. El tiempo máximo real para la detección y control de la fuga determinado por el modelo fue descartado y, se alimentó el tiempo en que tardará la **válvula SLAM SHUT** en activarse al detectar una caída de presión anormal en el sistema, que es de **1 minuto** máximo. Cuando no se cuenta con dicha válvula, se utiliza el tiempo que tarda el operador en detectar la fuga y cerrar en forma manual de válvula de bloqueo, con relación a la ubicación de la **Estación de Medición y Regulación** respecto a los sistemas de emergencia de la empresa contratante (aproximadamente **30 minutos**).
5. Con el nuevo tiempo se calculó la cantidad de fluido liberado tomando en cuenta la tasa de descarga calculada por el simulador.
6. Las características físicas y químicas del fluido permanecen constantes respecto al tiempo
7. La velocidad promedio del viento en la zona se consideró de aproximadamente **4.5 millas/h (2 m/s)**, para considerar un caso crítico, de acuerdo con el manual del ARCHIE. La estabilidad atmosférica a considerar será "B", condiciones moderadamente inestables, y "F" condiciones moderadamente estables.
8. El tiempo máximo para la detección y control del evento de fuga es determinado en función del tiempo máximo para la localización del evento. Para efectos de modelación, el tiempo estimado para cierre automático de la válvula SLAM SHUT es de **1 minuto**, además de que las instalaciones no se encuentran aisladas, y cuentan con vigilancia continua.
9. Sin embargo, **para efectos prácticos se modeló a 10 minutos**, siguiendo las recomendaciones del *Code of Federal Regulations, Title 40, 68.25 Worst-case release scenario analysis*.

A manera de introducción presentamos las siguientes consideraciones generales:

La dispersión de materiales peligrosos y contaminantes en la atmósfera ha atraído un gran interés durante algunas décadas. Este interés ha resultado en el desarrollo de diversos modelos de dispersión. Los primeros modelos se generaron para estudiar el comportamiento de contaminantes descargados de respiraderos y chimeneas. Estos contaminantes forman, generalmente, plumas neutras, i.e. plumas cuyas densidades son similares a las del aire; por lo tanto, los primeros modelos se concentraron en dispersión neutra. Más recientemente, el interés creciente en análisis de riesgo se ha acompañado por un mayor interés en el comportamiento de nubes con densidades significativamente diferentes a las del aire. En un análisis de riesgos, las nubes que son más densas que el aire, son generalmente las de mayor importancia; las nubes más ligeras que el aire flotan hacia arriba, por lo que es más probable que se dispersen sin causar daños.

La dispersión de material en la atmósfera es función de la estabilidad del aire, la velocidad de los vientos y la rugosidad de la superficie, como se describe a continuación:

#### **a) Estabilidad del aire.**

La estabilidad se define en términos del gradiente vertical de temperatura en la atmósfera, por lo general se describe usando el sistema de categorías desarrollado por Pasquill. Este sistema usa 6 (o en ocasiones 7) categorías para cubrir condiciones inestables, neutras o estables; las categorías son rangos de estabilidad identificados por las letras A a F (o algunas veces A a G).

La estabilidad neutral se presenta, característicamente, cuando hay una cobertura total de la nube y se designa como categoría D. Las condiciones inestables se presentan cuando el sol está brillando, porque el calentamiento del suelo incrementa la turbulencia convectiva; las condiciones inestables se designan con las letras A a C, con A como la condición menos estable. Las condiciones estables se presentan en noches claras y en calma, cuando el aire cerca del suelo está estratificado y sin turbulencia, y se designan por las letras E y F; en ocasiones una categoría adicional, G se usa para condiciones excepcionalmente estables.

En el caso específico de las modelaciones realizadas se presentan cálculos bajo dos condiciones: **B (muy inestable)** y **F (muy estable)**, con el objeto de abarcar las peores condiciones tanto de concentración como de dispersión del **gas natural** en cuestión.

**b) Velocidad del viento y rugosidad de la superficie.**

Estos factores se tratan juntos porque se combinan para influenciar la turbulencia local. El viento por lo general incrementa la turbulencia atmosférica y acelera la dispersión. La rugosidad de la superficie del suelo induce turbulencia en el viento que fluye sobre la misma y, por lo tanto, afecta la dispersión.

Todos estos factores aparecen en modelos de dispersión. Algunos de los modelos más recientes y avanzados introducen descripciones complejas del mezclado por turbulencia, basados en la Difusividad de Eddy. Sin embargo, estos modelos son tan complejos que no se han usado mucho en análisis de riesgo.

Para este caso, la velocidad del viento con que se inicialmente realizan las modelaciones es de 2.5 km/h, dato que corresponde a la velocidad del viento cerca de la superficie del piso, tomando como base la velocidad promedio del viento durante los últimos doce años, considerando un margen adicional de variación del 10%.

**Consideraciones adicionales.**

Debido a que el gas combustible que se distribuirá está constituido aproximadamente con 85% de metano (CH<sub>4</sub>), se supone que el fluido se comporta como este último.

Se considera que el diámetro de orificio que puede formarse en la línea de conducción de **gas natural** es de 12.7 mm (0.5"). Para fines de modelación, se consideró también el diámetro de las conexiones o en última instancia, del ducto mismo.

Las condiciones operativas del fluido (temperatura, presión y flujo) son las establecidas en el **Apartado I.1.**

El tiempo máximo de respuesta al evento (por parte del personal encargado de atender una emergencia), es variable y puede ocurrir durante el intervalo de **30 - 240 minutos**. **Para fines de modelación, sin embargo, se consideró un tiempo de respuesta de 1 minuto en el punto de interconexión, y de 10 minutos en algún punto del ducto**, que es el tiempo máximo que puede durar una fuga antes de que se corte en forma automática el flujo de gas desde el patín de regulación y medición en el punto de interconexión del gasoducto, independientemente de las acciones que tome el operador del sistema. Además, el tiempo mínimo de **10 minutos** corresponde a las recomendaciones del *Code of Federal Regulations, Title 40, 68.25 Worst-case release scenario analysis*.

### Evaluación del evento.

La manifestación del evento de fuga e incendio del **gas natural** que puede ocurrir durante su distribución a través del **ducto de acero de 4 y 6" de diámetro**, y de las líneas que componen el tren del patin de Regulación y Medición, esta en función de la cantidad de material fugado, las características de inflamabilidad y toxicidad del material y del tiempo de respuesta que se da al control del evento.

Por otra parte, en función de la probabilidad y magnitud de ocurrencia, puede clasificarse el evento como un daño catastrófico probable (DCP) y como un daño máximo probable (DMP). A este respecto, en el presente análisis se consideró la máxima fuga de material que puede ocurrir por el diámetro de orificio que se forma más frecuentemente en la tubería.

De esta forma, se pretende conocer cual sería la zona de seguridad para la protección en caso del daño catastrófico probable por evento de explosión, considerando las consecuencias ocasionadas por las ondas de sobrepresión.

Los datos de la simulación de riesgo se proporcionan en la información aquí anexada, la cual debe considerarse con reservas ya que el análisis de riesgo tiene un grado de incertidumbre independientemente del software que se emplee.

### 1. Formación de Nubes Tóxicas

Para la determinación del riesgo de formación de nubes tóxicas, en las siguientes tablas se presenta la información que permite analizar el potencial de los componentes del **gas natural** a manejar por **Gas Natural Potosino, S.A.P.I. de C.V.** y que pudieran originar o causar daños adversos en la salud de los individuos expuestos.

Se debe tener en cuenta que el **gas natural** es una mezcla de gases ligeros e inflamables, tales como metano, etano, nitrógeno, propano y butano, la mayor parte de ellos hidrocarburos alifáticos.

Los cuatro primeros son simples asfixiantes. Sólo el butano presenta ya características de toxicidad, con un TLV de 800 ppm.

Componentes del gas natural (en porcentaje)

Componentes del gas natural	% en volumen
Metano	83 – 99
Etano	1 – 13
Propano	0.1 – 3
Butano	0.2 - 1.0

Evaluación de la toxicidad de los componentes del gas natural

Componente	Presión de Vapor (a 21°C)	TLV Ppm	IDLH Ppm	LIE %	LSE %
METANO	Gas	---	--	5.0	15.0
ETANO	38.0 kg/cm <sup>2</sup>	---	--	2.9	13.0
NITROGENO	Gas	---	--	N/A	N/A
PROPANO	7.6 Kg/cm <sup>2</sup> (109 psig)	---	--	2.1	9.5
BUTANO	1.1 Kg/cm <sup>2</sup> (16.3 psig)	800		1.8	8.5

Para la modelación de eventos de riesgo y en base a la identificación y jerarquización de riesgos, se eligió el evento que representa el mayor peligro por la cantidad de material involucrado, que es la fuga de **gas natural** en un tramo del gasoducto por ruptura o colapso del equipo.

Para efectos de modelación, se consideraron las siguientes características del gas natural:

Características fisicoquímicas generales del gas natural

Características	Valor
Peso molecular	17.83 (g/MOL)
Punto de ebullición	-260°F (-162°C)
Punto de fusión	-297°F (-183°C)
Densidad relativa (gravedad específica)	0.667 (Agua=1)
Presión de vapor	GAS (mm Hg @ 20°C)
Densidad de vapor	0.55 (Aire=1)
Solubilidad en agua	Ligera (% por medio de volumen)
Información del pH	N/A
% volátiles por volumen	100
Velocidad de evaporación	Ebullen (Eter etílico=1)
Apariencia	Gas incoloro
Olor	Inoloro (Olor por mercaptano)
Límite inferior de inflamabilidad	5% en volumen
Límite superior de inflamabilidad	15% en volumen
IDLH	----- mg/m <sup>3</sup>
TLV	----- mg/m <sup>3</sup>

Debido a que la hoja de datos de seguridad de **PEMEX** no reporta valores de TLV y de IDLH, no se corrió el modelo de evaluación del riesgo de dispersión de vapores tóxicos. Sin embargo, para la modelación de eventos de fuga, incendio y explosión, se consideró una fuga inicial de gas natural.

Los puntos específicos elegidos para la modelación fueron aquellos que son característicos o representativos de prácticamente todo el sistema, estos son:

- Un tramo de la **tubería subterránea de acero de 4 y 6"** de  $\emptyset$ .
- **Caseta de usuario.**
- **Estación de Medición y Regulación**

Para realizar la modelación de una fuga de **gas natural**, se consideraron las peores condiciones posibles, es decir el caso de una fuga que no es detectada y atendida a tiempo, fugándose el **gas natural** por un **orificio de 1 pulgada de diámetro**, con una **estabilidad atmosférica tipo F**, o sea muy estable, de noche, con nubosidad poco densa y sin capa de inversión.

Lo anterior es considerando las condiciones de operación mostradas anteriormente, donde el gasoducto para la **empresa Villaserre** tendrá una capacidad de flujo máxima de 89,34 m<sup>3</sup> Std/día (3'155,000 pies<sup>3</sup> Std/día) aproximadamente, operando a **350 psig** (2,413.2 kPa), y a una temperatura de operación de 60°F.

## 2. Formación de Nubes Inflamables

Dadas las condiciones de operación del **gas natural**, se considera que los escenarios de riesgo más críticos y probables surgirían como consecuencia de incendios en las instalaciones. De esta forma se establecieron los escenarios de mayor riesgo relacionados con fuego y sus consecuencias.

En la evaluación de las áreas de riesgo por explosión o incendio, se tomó en cuenta el escenario que resulta de la fuga. En la estimación de la formación de gases inflamables, el modelo utilizado (Ver **Anexo No. 7**) supone que los gases o vapores provienen de una emisión continua, misma que es dispersada predominantemente por difusión turbulenta y asume que la densidad del gas es cercana a la del aire.

La secuencia del cálculo consiste en encontrar las distancias en las que se tienen las concentraciones de los límites inferior y superior de la inflamabilidad.

## 3. Formación de Nubes Explosivas

En la determinación de las distancias a las que se podrían presentar daños por efectos de la explosión de una nube de gas o vapor, se empleó un modelo para evaluación de daños provocados por nubes explosivas, mismo que consiste en efectuar una equivalencia de potencial explosivo de la sustancia en cuestión con respecto al trinitrotolueno.

Dado que al ocurrir una explosión se genera una serie de ondas expansivas circulares, de tal forma que las ondas de mayor presión forman una circunferencia cercana al centro de la nube, y las de menor presión forman circunferencias con diámetro mayor. El objeto del modelo es determinar la magnitud de estos diámetros.

El modelo asume las siguientes suposiciones:

- a) La fuga del gas es instantánea.
- b) La vaporización y formación de la nube se efectúa de acuerdo con las propiedades termodinámicas del gas o líquido antes de producirse la fuga.
- c) Se asume una nube cilíndrica cuya altura corresponde a su eje vertical.
- d) La nube no es distorsionada por el viento ni por estructuras o edificios cercanos.
- e) La composición de la nube es uniforme y su concentración corresponde a la media aritmética de los límites superior e inferior de explosividad del material.
- f) El calor de combustión del material se transforma a su equivalente en peso de Trinitrotolueno.
- g) La temperatura del aire se considera constante e igual a 70°F.

Los resultados del modelo de simulación (diagrama de pétalos) para los diferentes riesgos asociados se encuentran en el **Anexo No. 7**.

Aunque este tipo de accidente es poco probable que ocurra, sobre todo en el interior del predio del usuario final (Villaserre), debido a que en la empresa se contará con toda clase de medidas de seguridad cercanos a la **Estación de Medición y Regulación** por construir, su simulación es realista.

Otros eventos que pudieran causar riesgos de incendio y posterior explosión, serían:

- a) Falla del sistema de **tubería de acero**, provocado por un mantenimiento deficiente, a un impacto o maltrato de la misma por acciones mal intencionadas, por prácticas de trabajo indebidas.
- b) Falla en las conexiones del ducto y sus accesorios, ocasionadas por el mal estado de las conexiones o descuido del contratista.
- c) Fallas en bridas, juntas, válvulas, o reguladores, ocasionadas por fatiga de materiales o a una mala especificación.
- d) Apertura de alguna válvula de seguridad por un mantenimiento deficiente o por un exceso de presión en el ducto provocado por un fuego externo o una sobre presurización.

A continuación se presentan los casos supuestos como los eventos máximos probables de ocurrencia, determinados por el análisis **HAZOP**.

#### Caso 1.

- **Suposición:** Fuga e incendio de **gas natural** por un orificio equivalente a **1/4" de diámetro nominal**
- **Localización:** En una junta o brida en mal estado del patín de medición y regulación principal que se ubicará en la **Estación de Medición y Regulación**.
- **Causas:** Corrosión interna o externa. Falla de la calidad de los materiales o fin del ciclo de vida útil de los materiales.
- **Identificación:** La identificación la realiza el operador de la instalación.
- **Consideraciones:** El tiempo máximo de detección y control de la fuga es de **1 minuto** (tiempo máximo que tardaría el personal de emergencias en controlar una fuga en caso de que no se activara automáticamente la **válvula Slam-Shut**, en el patín de medición y regulación del punto de interconexión cuando se presente una caída de presión anormal en el sistema); el gas fugado forma una nube por arriba del nivel de piso, encuentra una fuente de ignición y se da un incendio de bola de fuego. Debido a los sistemas redundantes de protección contra incendio de las instalaciones, este incendio, aun cuando se da dentro del área de medición y regulación, no ocasiona daños al gasoducto.

#### Caso 2.

- **Suposición:** Fuga e incendio de **gas natural** por rotura del ducto alojado en el predio de la empresa **Villaserre** en el **Municipio de Silao de la Victoria, Guanajuato** (orificio de **1.2" de diámetro, equivalente al 20% del diámetro de la tubería**).
- **Localización:** Ducto de **acero de 6"** se localizará en el **Municipio de Silao de la Victoria, Estado de Guanajuato**.
- **Causas:** Error humano al efectuar trabajos de excavación con una pala mecánica
- **Identificación:** La identificación la realiza la gente que trabaja en la zona.
- **Consideraciones:** El tiempo máximo de detección y control de la fuga es **1 minuto** (que es el tiempo máximo de un afuga antes de que se active automáticamente la **válvula Slam-Shut**, en el patín de medición y regulación de la **EMR del punto de interconexión existente** cuando se presenta una caída de presión anormal en el sistema), por considerar que las instalaciones, cuentan con la infraestructura suficiente y el personal entrenado para atender la fuga. Se simuló que la fuga produce una nube inflamable, que se incendia y se produce una explosión. Sin embargo, **para efectos prácticos se modeló a 10 minutos**, siguiendo las recomendaciones del *Code of Federal Regulations, Title 40, 68.25 Worst-case release scenario analysis*.

### Caso 3.

- **Suposición:** Fuga e incendio de **gas natural** por rotura del ducto alojado en el predio de la empresa **Villaserre** en el **Municipio de Silao de la Victoria, Guanajuato** (orificio de **2" de diámetro, equivalente al 50% del diámetro de la tubería**).
- **Localización:** Ducto de **acero de 4"** se localizará en el **Municipio de Silao de la Victoria, Estado de Guanajuato**, alojado en predio del usuario **Villaserre** en la zona agrícola del **Municipio de Silao de la Victoria**, que será construido por **Gas Natural Potosino**.
- **Causas:** Soldadura defectuosa.
- **Identificación:** La identificación la realiza la gente que trabaja en la zona.
- **Consideraciones:** El tiempo máximo de detección y control de la fuga es **1 minuto** (tiempo máximo que tarda en actuar automáticamente la **válvula Slam-Shut**, en el patín de medición y regulación del punto de interconexión cuando se presenta una caída de presión anormal en el sistema), por considerar que las instalaciones, cuentan con la infraestructura suficiente y el personal entrenado para atender la fuga. Se simuló que la fuga produce una nube inflamable, que se incendia y se produce una explosión.

### Caso 4.

- **Suposición:** El peor caso. Fuga e incendio de **gas natural** por rotura total del ducto en el **Municipio de Silao de la Victoria** (orificio de **4" de diámetro, equivalente al 100% del diámetro de la tubería**).
- **Localización:** Ducto de **acero de 4"** que se localizará en el **Municipio de Silao de la Victoria, Estado de Guanajuato**.
- **Causas:** Acto de sabotaje.
- **Identificación:** La identificación la realiza la gente que trabaja en la zona.
- **Consideraciones:** El tiempo máximo de detección y control de la fuga es **1 minuto** (tiempo máximo que tarda en actuar automáticamente la **válvula Slam-Shut**, en el patín de medición y regulación de la **EMR del punto de interconexión existente** cuando se presenta una caída de presión anormal en el sistema), por considerar que las instalaciones, cuentan con la infraestructura suficiente y el personal entrenado para atender la fuga. Se simuló que la fuga produce una nube inflamable, que se incendia y se produce una explosión.

### Caso 5.

- **Suposición:** Fuga e incendio de **gas natural** por rotura del ducto alojado en el predio del usuario **Villaserre**, en el **Municipio Silao de la Victoria, Guanajuato** (orificio de **0.5" de diámetro**)
- **Localización:** Ducto de **acero de 6"** se localizará en el **Municipio de Silao de la Victoria, Estado de Guanajuato**, alojado en el predio del usuario **Villaserre**, que será construido por **Gas Natural Potosino**.
- **Causas:** Poro de corrosión de la tubería
- **Identificación:** La identificación la realiza la gente que trabaja en la zona.
- **Consideraciones:** El tiempo máximo de detección y control de la fuga es **1 minuto** (tiempo máximo que tarda en actuar automáticamente la **válvula Slam-Shut**, en el patín de medición y regulación del punto de interconexión cuando se presenta una caída de presión anormal en el sistema), por considerar que las instalaciones, cuentan con la infraestructura suficiente y el personal entrenado para atender la fuga. Se simuló que la fuga produce una nube inflamable, que se incendia y se produce una explosión. Sin embargo, **para efectos prácticos se modeló a 10 minutos**, siguiendo las recomendaciones del *Code of Federal Regulations, Title 40, 68.25 Worst-case release scenario analysis*.

### Caso 5.

- **Suposición:** Fuga de **Gas natural** por un orificio equivalente a **1/4" de diámetro** nominal
- **Localización:** En una junta o brida en mal estado del patín de la **Caseta de Medición y Regulación del usuario.**
- **Causas:** **Corrosión interna o externa. Falla de la calidad de los materiales o fin del ciclo de vida útil de los materiales.**
- **Identificación:** La identificación la realiza el operador de la instalación.
- **Consideraciones:** El tiempo máximo de detección y control de la fuga es **30 minutos** (tiempo máximo que tardaría el personal de emergencias en controlar una fuga en caso de que no se activara automáticamente la **válvula Slam-Shut**, en el patín de medición y regulación del punto de interconexión cuando de presente una caída de presión anormal en el sistema); el gas fugado forma una nube por arriba del nivel de piso, encuentra una fuente de ignición y se da un incendio de bola de fuego. Debido a los sistemas redundantes de protección contra incendio de las instalaciones, este incendio, aun cuando se da dentro del área de medición y regulación, no ocasiona daños al gasoducto.

### Radio de afectación:

Los radios que indican las zonas de daño en caso de accidente por incendio y explosión se muestran en los planos del **Anexo No. 7**. A partir de los resultados de las simulaciones podemos establecer las consecuencias de los diferentes tipos de accidentes generados.

La presión en libras por pulgada cuadrada del gas natural en el interior del **gasoducto de acero es de 350 psi**, y la presión atmosférica es de 14.7 psi. Para efectos de la modelación, se suman ambas presiones para obtener la **presión absoluta (psia)**, que es de **364.7 psia**.

Como resultado del modelo (considerando una fuga a través de **un orificio de 2"** en algún punto del **gasoducto de acero**, que se estima como el caso más probable de los **seis** citados arriba), para el caso de **riesgo de inflamabilidad** de una posible nube de gas generada a partir de una fuga, se considera una distancia de riesgo viento abajo de **87.48 metros**, correspondiente al valor del límite inferior de inflamabilidad (LFL) para una **estabilidad atmosférica clase F**.

En este caso los radios de afectación están dibujados desde tres posible puntos de fuga en el ducto, escogido al azar del **Municipio Silao de la Victoria** con relativamente pocas construcciones, cerca del predio de la empresa contratante del servicio **Villaserre**.

Debido a su alta inflamabilidad y explosividad, este caso (**Caso No. 3**) es el de mayor riesgo de afectaciones, ya que una explosión liberaría la energía necesaria para provocar daños de leves a moderados a personas e instalaciones en un **radio de 1,232.31 metros correspondiente a la onda de sobrepresión de 0.03 psig**, y daños graves en un **radio de 64.92 metros a la redonda, correspondiente a una onda de sobrepresión de 1.0 psig**. Además, éste caso es el más probable, ya que el orificio de 2" es el que dejaría un golpe de una pala mecánica.

En el caso de una explosión de una nube de gas natural (evento poco probable debido a las características de dispersión del gas natural), **la onda de sobrepresión de 0.5 psig**, considerada como el valor que determina el límite de la **Zona de Seguridad o de Amortiguamiento**, puede presentarse hasta una distancia de **112.47 metros**, después de esta distancia no se presentan daños a las personas y ocasionalmente se provocan solo roturas de vidrios. **La onda de sobrepresión de 1.0 psig**, que representa el límite de la **Zona de Alto Riesgo**, alcanza una distancia de **64.92 metros**.

**La onda de sobrepresión de 29 psig** alcanza una distancia de **8.84 metros**, en esta zona los daños a las personas son fatales y se podría presentar la destrucción de estructuras civiles y destrucción de equipos.

Con base en los escenarios simulados podemos notar que el mayor riesgo en el proyecto del gasoducto en cuestión emergería por daños causados por fuego y/o explosión. En consecuencia, se ha otorgado especial énfasis al diseño de los sistemas de seguridad para la prevención, detección y control de siniestros.

Cabe mencionar que de acuerdo a las especificaciones de la normatividad oficial en cuanto a diseño y construcción, la presencia de cualquiera de los eventos antes indicados es muy remota, debido a la correcta aplicación que se tendrá de los códigos, estándares, reglamentos y buenas prácticas de operación y mantenimiento.

#### **Descripción de riesgos con afectación potencial al entorno del tendido del gasoducto:**

El principal riesgo con afectación potencial al entorno del tendido del gasoducto, está representado en primera instancia por la probabilidad de que tenga lugar una fuga de gas natural, que en situaciones extremas pueden llegar a formar nubes inflamables y/o explosivas, dependiendo del volumen de gas fugado, del sitio específico del gasoducto donde tenga lugar y de las condiciones climatológicas imperantes, y por la posible ignición del gas inflamable fugado, ya sea en el cuerpo del gasoducto o en sus cuadros de regulación, debido a que la nube de gas inflamable y explosiva puede alcanzar una fuente de ignición. Sin embargo, tomando en cuenta las medidas de seguridad utilizadas y las características de dispersión del gas natural, este tipo de eventos es poco probable.

A fin de evaluar las posibles áreas de afectación resultantes de una fuga importante de gas natural, se partió de un modelo de simulación de fugas y derrames, mismo que permite el cálculo de la dispersión de un vapor proveniente de un área. La emisión se produce a nivel de piso, basándose en los valores de presión de vapor y peso molecular del gas natural, así como de los valores de velocidad del viento y estabilidad atmosférica.

Como es de esperarse, el área de exclusión se ve modificada por el tipo de condiciones meteorológicas que predominen en el momento de la fuga y por el sitio del sistema del gas natural donde tuviera lugar la fuga, por lo que el modelo define un ángulo de variación o fluctuación de la pluma de gas o vapor que es función del tipo de estabilidad. De esta manera, se han efectuado simulaciones bajo distintas condiciones de estabilidad de la columna de aire (atmósfera inestable tipo B y atmósfera muy estable tipo F).

Los resultados de las simulaciones anteriormente citadas se muestran en el **Anexos No. 7**.

Cuadro comparativo de las modelaciones realizadas

Caso 1: Fuga a través de un orificio de 1/4" en la caseta de medición y regulación del punto de interconexión durante 1 minuto		Caso 2: Fuga a través de un orificio de 1.2" en el ducto de acero de 6" durante 10 minutos		Caso 3: Fuga a través de un orificio de 2" en el ducto de acero de 4" durante 1 minutos	
<b>FLAMA O DARDOS DE FUEGO</b>		<b>FLAMA O DARDOS DE FUEGO</b>		<b>FLAMA O DARDOS DE FUEGO</b>	
Zona de alto riesgo: 7.01 m	Zona de amortiguamiento: 14.07 m	Zona de alto riesgo: 33.22 m	Zona de amortiguamiento: 66.45 m	Zona de alto riesgo: 55.47 m	Zona de amortiguamiento: 110.64 m
FUEGO POR PLUMA DE VAPOR O NUBE DE GAS INFLAMABLE (ESTABILIDAD B)		FUEGO POR PLUMA DE VAPOR O NUBE DE GAS INFLAMABLE (ESTABILIDAD B)		FUEGO POR PLUMA DE VAPOR O NUBE DE GAS INFLAMABLE (ESTABILIDAD B)	
Zona de alto riesgo: 4.57 m	Zona de amortiguamiento: 6.7 m	Zona de alto riesgo: 24.38 m	Zona de amortiguamiento: 35.05 m	Zona de alto riesgo: 135.05 m	Zona de amortiguamiento: 159.41 m
FUEGO POR PLUMA DE VAPOR O NUBE DE GAS INFLAMABLE (ESTABILIDAD F)		FUEGO POR PLUMA DE VAPOR O NUBE DE GAS INFLAMABLE (ESTABILIDAD F)		FUEGO POR PLUMA DE VAPOR O NUBE DE GAS INFLAMABLE (ESTABILIDAD F)	
Zona de alto riesgo: 7.62 m	Zona de amortiguamiento: 10.97 m	Zona de alto riesgo: 40.84 m	Zona de amortiguamiento: 59.13 m	Zona de alto riesgo: 87.48 m	Zona de amortiguamiento: 105.46 m
EXPLOSIÓN DE NUBES DE VAPOR NO CONFINADAS (SOBREPRESIÓN)		EXPLOSIÓN DE NUBES DE VAPOR NO CONFINADAS (SOBREPRESIÓN)		EXPLOSIÓN DE NUBES DE VAPOR NO CONFINADAS (SOBREPRESIÓN)	
Zona de alto riesgo: 6.4 m	Zona de amortiguamiento: 10.97 m	Zona de alto riesgo: 35.97 m	Zona de amortiguamiento: 62.48 m	Zona de alto riesgo: 64.92 m	Zona de amortiguamiento: 112.47 m

Cuadro comparativo de las modelaciones realizadas (cont.)

Caso 4: Fuga por ruptura total del ducto de acero de 4" durante 1 minuto		Caso 5: Fuga a través de un orificio de 0.5" en el ducto de acero de 4" durante 10 minutos		Caso 6: Fuga a través de un orificio de 1/4" en la caseta de medición y regulación del usuario durante 30 minutos	
<b>FLAMA O DARDOS DE FUEGO</b>		<b>FLAMA O DARDOS DE FUEGO</b>		<b>FLAMA O DARDOS DE FUEGO</b>	
Zona de alto riesgo: 110.64 m	Zona de amortiguamiento: 220.98 m	Zona de alto riesgo: 14.02 m	Zona de amortiguamiento: 27.74 m	Zona de alto riesgo: 2.44 m	Zona de amortiguamiento: 4.88 m
FUEGO POR PLUMA DE VAPOR O NUBE DE GAS INFLAMABLE (ESTABILIDAD B)		FUEGO POR PLUMA DE VAPOR O NUBE DE GAS INFLAMABLE (ESTABILIDAD B)		FUEGO POR PLUMA DE VAPOR O NUBE DE GAS INFLAMABLE (ESTABILIDAD B)	
Zona de alto riesgo: 188.37 m	Zona de amortiguamiento: 222.2 m	Zona de alto riesgo: 3.05 m	Zona de amortiguamiento: 4.27 m	Zona de alto riesgo: 3.05 m	Zona de amortiguamiento: 4.27 m
FUEGO POR PLUMA DE VAPOR O NUBE DE GAS INFLAMABLE (ESTABILIDAD F)		FUEGO POR PLUMA DE VAPOR O NUBE DE GAS INFLAMABLE (ESTABILIDAD F)		FUEGO POR PLUMA DE VAPOR O NUBE DE GAS INFLAMABLE (ESTABILIDAD F)	
Zona de alto riesgo: 127.1 m	Zona de amortiguamiento: 153.31 m	Zona de alto riesgo: 4.88 m	Zona de amortiguamiento: 7.01 m	Zona de alto riesgo: 4.88 m	Zona de amortiguamiento: 7.01 m
EXPLOSIÓN DE NUBES DE VAPOR NO CONFINADAS (SOBREPRESIÓN)		EXPLOSIÓN DE NUBES DE VAPOR NO CONFINADAS (SOBREPRESIÓN)		EXPLOSIÓN DE NUBES DE VAPOR NO CONFINADAS (SOBREPRESIÓN)	
Zona de alto riesgo: 114.6 m	Zona de amortiguamiento: 198.73 m	Zona de alto riesgo: 6.4 m	Zona de amortiguamiento: 10.97 m	Zona de alto riesgo: 5.18 m	Zona de amortiguamiento: 4.88 m

*Criterios de zonas de seguridad:  
Zona de alto riesgo (0.070 kg/cm<sup>2</sup> o 1.0 psig)*

## II.2 Interacciones de riesgo

Existe un **gasoducto de 16"** propiedad de la empresa **Gasoductos del Bajío, S. de R.L. de C.V.**, al cual se interconectará el **gasoducto a construir** de **Gas Natural Potosino, S.A.P.I. de C.V.** que suministrará gas natural a la empresa **Villaserre, S.P.R. de R.L. de C.V.**, que se establecerá en el **Municipio de Silao de la Victoria, Guanajuato**.

No existen estaciones de servicio a lo largo del trazo, el gasoducto a construir tendrá un cruzamiento especial con el ducto de **16"** de **GdB**.

Indudablemente, es necesario coordinar la elaboración de un **Programa para la Prevención de Accidentes** con las autoridades estatales y municipales.

## II.3 Efectos sobre el Sistema Ambiental

Aún cuando se encuentran asentamientos humanos en el **Sistema Ambiental** (*Municipio de Silao de la Victoria*) no se verán afectados ya que de acuerdo con las **zonas de alto riesgo y amortiguamiento** resultantes de las modelaciones realizadas (Ver **Anexo 7**) no existen dentro de dichas zonas asentamientos humanos, áreas naturales protegidas o cuerpos de agua que pudieran verse afectados (Ver **Anexo 2. Cartografía**).

## III. Señalamientos de las Medidas de Seguridad y Preventivas en Materia Ambiental

### III.1 Recomendaciones Técnico-Operativas

El manejo adecuado y seguro del **gas natural** es posible, siempre y cuando se conozcan sus peligros y las diferentes formas en que estos pueden presentarse; esto no quiere decir que no existe riesgo alguno; sí existen, aunque son mínimos, por lo que siempre se tendrán al alcance de todas las personas involucradas en la operación del gasoducto, así como las medidas preventivas para su rápido control, por si llegase a ocurrir algún evento inesperado.

Algunas recomendaciones serían las siguientes:

#### Etapa de Construcción:

- Establecer un procedimiento de control de calidad de los equipos a instalar por el responsable de la obra, en el se deberá incluir el número de lote, composición química, propiedades mecánicas, espesores, etc.
- Diseñar y aplicar un procedimiento de soldadura y uno similar para la calificación de los soldadores, de acuerdo a las características de la tubería, accesorios y a los estándares nacionales e internacionales vigentes.
- Aplicar la normatividad vigente para protección de secciones superficiales de tubería con recubrimiento para evitar el inicio de procesos corrosivos por intemperismo.

- Supervisar la correcta implementación del sistema automático de detección de fugas, de tal manera que se minimice el tiempo de respuesta para evitar daño.
- Supervisar el proceso de apertura de zanja, alojamiento de tubería y tapado de la misma se haga de acuerdo a la normatividad aplicable, reportando cualquier anomalía o desviación que se presente.
- Supervisar por medio de una unidad verificadora y documentar las pruebas que se realicen al ducto en campo en todas sus fases.

#### **Etapa de Operación y Mantenimiento:**

- No exceder la presión de operación establecida para evitar fracturas en las líneas que conduzcan a situaciones de peligro al ambiente o a las instalaciones.
- Evaluar la factibilidad de instalar un sistema centralizado de instrumentación, que permita una rápida detección y control de fugas, minimizando así los riesgos al ambiente y a las instalaciones.
- Cumplir cabalmente con las actividades incluidas en el Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema, así como revisarlo anualmente por medio de una Unidad de Verificación acreditada por la Comisión Reguladora de Energía.
- Iniciar una bitácora de accidentes y/o fugas en caso que se presenten en el gasoducto para aplicar posteriormente un programa específico que ataque y evite eventos y consecuencias no deseadas.
- Monitoreo continuo, inspección y limpieza de las instalaciones exteriores, tales como casetas de medición y regulación, y sus equipos (medidores, reguladores, filtros, etc.)
- Capacitar al personal para que opere en forma correcta los dispositivos manuales de control, conozca los caminos de acceso y los fundamentos básicos de operación de las instalaciones que se encuentran en el área del proyecto y así evitar al máximo errores humanos de operación.
- Será indispensable llevar a cabo supervisión periódica del Derecho de Vía para evitar invasión al mismo y evitar también que se realicen trabajos con maquinaria pesada sobre el trayecto del gasoducto.
- Observar estrictamente el cumplimiento del programa anual de mantenimiento preventivo en el que se incluya, el sondeo para la verificación de la profundidad de la línea en el terreno, la inspección de potenciales catódicos y la medición de espesores, para tomar acciones inmediatas cuando se presenten desviaciones a las condiciones normales de operación.

### Área de Seguridad:

- Será necesario establecer cursos intensivos de capacitación, entrenamiento de personal y de simulacros.
- Generar las alianzas necesarias con el gasoducto **GdB** y las autoridades locales de atención a emergencias.
- Revisión y reposición (en caso de requerirse) de los señalamientos que indican la trayectoria a lo largo del derecho de vía, contemplando que se mencione el tipo de producto manejado y los teléfonos para comunicarse en caso de emergencia.
- Cumplir cabalmente (año con año) con un Programa de Prevención de Accidentes, en el que se considere Educación Pública, Capacitación interna y Externa, Simulacros, comunicación con autoridades, etc.
- Se recomienda la instalación de un sistema de estimación de viento de tipo calcetín a una altura de fácil observación a distancias mayores a 50 m.
- Los riesgos en general pueden reducirse aún más mejorando continuamente el mantenimiento, inspección y **auditorias de seguridad internas y externas**, lo que es recomendable incluir en los procedimientos normales de la empresa.
- Los riesgos de fugas por rotura o golpe al gasoducto por algún agente externo, se podrían reducir y hasta eliminar si se concientiza a la gente que transite cerca de las instalaciones, sobre los peligros que implica la invasión al Derecho de Vía y a la realización de trabajos en forma irresponsable. Para ello es necesario informar a estas personas mediante pláticas, señalamientos y boletines, sobre que hacer en caso de que se presente un accidente y como actuar con prontitud de acuerdo al Plan de Emergencia del Gasoducto.
- Informar a la comunidad, a las autoridades municipales, estatales y federales sobre los horarios de operación y los riesgos de explosión, así como la coordinación de acciones de emergencia ante un siniestro.
- Implantar rigurosamente los planes y programas de capacitación, seguridad, inspección, controles de operación, vigilancia, etc., de tal forma que se garantice un involucramiento total de los recursos humanos, al esquema de seguridad.
- Contar con un número de atención a emergencias que se encuentre perfectamente bien difundido entre las autoridades locales y estatales, así como las comunidades vecinas al trazo del gasoducto.
- Realizar un Programa de Prevención de Accidentes, de acuerdo con las guías de la SEMARNAT y la CRE.

### III.1.1 Sistemas de Seguridad

#### Consideraciones Relacionadas con el Diseño

La reducción de riesgos comienza con el diseño del sistema del gasoducto. Como mínimo, deberán observarse estrictamente todos los códigos, las reglamentaciones y las leyes mexicanas. Durante el proceso del diseño del sistema deben tenerse en cuenta varios factores, entre los cuales se destacan los siguientes:

- Especificaciones para la tubería, tales como la de SMYS, capacidad de conducción y la de MAOP, inclinación, espesor de las paredes, resistencia a la fractura, recubrimiento, soldabilidad, fatiga y vida útil
- Sobrepresión y control de la velocidad del gas
- Condiciones climáticas y de suelos
- Factor de vientos (huracanes) y actividad sísmica de la zona
- Consideraciones relacionadas con el trayecto
- Densidad de la población
- Profundidad a la cual va enterrado el ducto
- Espaciamiento entre válvulas
- Procedimientos e inspecciones de calidad
- Detección de rupturas y operación remota de válvulas, y Rayos X y evaluaciones no destructivas, etc.

#### 1. Medidas de seguridad

##### a) Medidas Generales

Entre las principales medidas de seguridad con que se cuenta se pueden citar las siguientes:

- Se contará con **válvulas de bloqueo** antes y después de los reguladores de presión, tanto en la caseta de medición/regulación como en el punto de interconexión con el **gasoducto de 16"** de **GdB**. En el evento de una fuga o algún otro incidente que ponga en peligro la zona, estas válvulas permitirán aislar el **gasoducto**.
- Se contará con un sistema de **desfogue por medio de válvulas de venteo**, que será accionada por medio de presión del mismo gas combustible. Ante el incremento de presión de gas esta válvula abrirá inmediatamente, desfogará el exceso de presión y la válvula principal se cerrará.
- La válvula de bloqueo se localizará en el patín de medición de la **Estación de Medición y Regulación** en el punto de interconexión con el **gasoducto GdB de 16"**, contará con un sistema de cierre automático por baja presión (**SLAM-SHUT**) que se activará aproximadamente 1 minuto después de detectar una caída de presión anormal en el sistema. El restablecimiento de la válvula es manual.
- Cada uno de los reguladores que operarán en línea tendrá uno de respaldo en reserva. Con esto se evitará la suspensión de servicio a los clientes y se reduce al mínimo el desfogue por sobrepresión causado por falta del regulador.

- Como medida de seguridad adicional, y con el fin de facilitar la detección de fugas de gas en el sistema, en la **EMR** se incorporará un **sistema odorante a base de mercaptano** (etil mercaptano) para detectar posibles fugas mediante el olfato. Esta substancia permite detectar fugas cuando la concentración del gas es de una quinta parte de su límite de explosividad, lo cual permite realizar las medidas preventivas y correctivas de manera oportuna. Además de esto, en el caso de las tuberías subterráneas, mancha el suelo por donde pasa, permitiendo detectar la fuga de manera visual.
- A lo largo de todo el trazo del gasoducto, se instalarán **señalamientos** (marcadores) a lo largo del Derecho de Vía para indicar la ubicación del gasoducto, incluyendo los **números telefónicos de emergencia**.
- Por tratarse de un **gasoducto de acero**, se requiere contar con un **sistema de protección catódica en el ducto, y adicionalmente en el punto de interconexión**.
- Se realizarán **recorridos de inspección** diarios en el Derecho de Vía del gasoducto.
- La **Estación de Medición y Regulación por construir** en el punto de interconexión contará con **sistema computador-controlador automático de flujo**.
- El tablero de control estará ubicado en la **caseta de usuario**. En caso de emergencia se contará con una batería de respaldo.
- Se contará con extintores tipo PQS y **letreros de "No Fumar"** visibles y colocados en las estaciones de medición y regulación de gas.
- Se pretende establecer una adecuada coordinación con la comunidad y autoridades locales para la atención de emergencias.

### III.1.2 Medidas Preventivas

Se contará con un **Plan de Emergencias** a aplicarse en caso de presentarse un accidente en las instalaciones. Dicho Plan será revisado anualmente para asegurarse de que los procedimientos cumplen la aplicación actual.

El diseño eléctrico deberá cumplir con todas las especificaciones, normas y códigos aplicables internacionales y nacionales, siendo las principales las siguientes:

NEC:	National Electric Code
NEMA:	National Electric Manufactures Association
NTIE:	Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas

#### *Otras medidas:*

- Dentro de las instalaciones estará prohibido fumar y realizar actividades que pudieran generar fuentes de ignición.
- El personal de operación y supervisión deberá vestir ropa de algodón (evitar usar ropa sintética que pudiera generar electricidad estática) y botas dieléctricas.
- La **caseta de regulación** deberá estar limpia y ordenada, con los accesos libres, sin ninguna obstrucción.
- En el predio de la empresa contratista del servicio **Villaserre**, se utilizará en forma obligatoria el equipo de protección personal, como una barrera entre el trabajador y un riesgo. El propósito principal de esta acción, es eliminar la posibilidad de alguna lesión, evitando cualquier exposición innecesaria al riesgo.

*El equipo de protección personal mínimo indispensable será el siguiente:*

- Ropa de trabajo de algodón
- Zapatos con suela antiderrapante y casquillo de protección
- Casco aislante eléctrico
- Fajilla
- Guantes

*En caso de exposición al gas natural, se deberá contar además con:*

- Goggles
- Respirador de careta total, suministrador de aire o un scuba
- Ropa de protección confeccionada para bomberos (resistente al fuego)

*Además se deberá utilizar:*

- Explosímetro calibrado para monitorear la concentración de gas natural (existe riesgo de explosión en atmósferas con concentraciones mayores a 2.1%)
- Detector de fugas de gas.

En trabajos de soldadura, el equipo de protección personal será el siguiente:

- Guantes
- Careta
- Polainas
- Peto

#### **b. Procedimientos de operación**

En caso de que el regulador falle, la válvula de seguridad se abrirá y desfogará en forma segura el gas. El sistema está equipado con un regulador de respaldo para detener el desfogue en un corto lapso de tiempo y permitir la revisión de falla del regulador.

El tubo de medición estará equipado con un control de flujo que en el momento que se excede el comportamiento normal de flujo del **gasoducto** (que es interpretado como una fuga mayor) envía cerrar la línea inmediatamente, deteniendo el flujo de gas al **ducto**.

## **2. Programas de seguridad**

Con objeto de prevenir y minimizar los riesgos del proyecto se cuenta con los siguientes programas de seguridad:

El Programa de Salud y Seguridad de **Gas Natural Potosino, S.A.P.I. de C.V.**, considera los riesgos generales derivados del proceso y está basado en la premisa de que la principal prioridad de cualquier proyecto es la salud y seguridad, tanto del personal de la empresa, sus subcontratistas, así como en la de sus clientes y público en general. Esta premisa se encuentra manifestada en la póliza directiva, en la que el programa de salud y seguridad de la empresa, está soportado por una serie de prácticas de operación de la corporación en las que todas las instalaciones cumplirán con todas las normas de seguridad internacionales, así como nacionales (Instituto Nacional de Ecología, Secretaría del Trabajo, Secretaría de Salud y las que en su momento elabore la Comisión Reguladora de Energía), para que las instalaciones operen con altos índices de seguridad.

Las políticas directivas de **Gas Natural Potosino, S.A.P.** así como las prácticas de operación han utilizado las siguientes fuentes de información, empleadas para el desarrollo de los procedimientos y asumen parte del programa de normas para la salud y seguridad, sus métodos y la implementación propia del programa:

- 1.- OSHA 29 CFR 1900, Incluyendo 1910, 120 y 29 CFR 1926
- 2.- EPA/OERR/ERT Guía de Normas de Operación Segura.
- 3.- NIOSH Guía de bolsillo.
- 4.- (ACGIH) Valores Críticos Límite.
- 5.- NIOSH Métodos Analíticos.
- 6.- OSHA Métodos de Muestreo Análisis.
- 7.- Manual de entrenamiento para salud y seguridad de **Gas Natural Potosino**
- 8.- NOM-EM-001-SE-1996.
- 9.- Ley Reglamentaria del artículo 27 constitucional en el ramo del petróleo.
- 10.- Reglamento de gas natural.

De manera complementaria la empresa **Gas Natural Potosino, S.A.P.I. de C.V.** contará con lo siguiente:

- Manuales de procedimientos para la construcción de gasoductos.
- Manuales de procedimientos para la operación de gasoductos.
- Programas y manuales de procedimientos para el mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos de seguridad y control del gasoducto
- Manual de procedimientos de emergencia.
- El personal será constantemente capacitado sobre los riesgos que representa el gas natural y las medidas necesarias que deban tomarse para su manejo.

### 3. Seguridad y Mantenimiento

Parte importante de las medidas de seguridad es la inspección y mantenimiento que se debe realizar a las instalaciones y componentes del gasoducto. Las inspecciones incluyen lo siguiente:

- Se tiene un supervisor de seguridad e higiene responsable de la supervisión del gasoducto para prevenir y corregir medidas o actos inseguros.
- Programas de revisión y mantenimiento a las instalaciones, lo cual incluye la medición de los espesores de las placas y grado de corrosión, limpieza de los cuadros de regulación y cambio periódico de válvulas y otros componentes sujetos a desgaste.
- Se tiene también un programa de supervisión con rondines cuya finalidad es detectar cualquier anomalía o evento, tales como fugas o incendios y actuar en consecuencia.

Para la prevención de fugas y posibles incendios en el interior de las empresas contratantes, se requerirá de que en ellas se implementen las medidas de seguridad necesarias, dependiendo de sus procesos.

En caso de suscitarse algún evento extraordinario deberán contar con planes de contingencia para controlar el riesgo.

Para el caso de la etapa de construcción, se tendrán las siguientes **Medidas de seguridad**:

1. El personal de protección y seguridad será proporcionado por el contratista y estará integrado por dos personas. Dicho personal deberá disponer de dos extinguidores de polvo químico seco PQS, de 30 lbs. de capacidad.
2. Asimismo, este personal deberá vigilar que los trabajos de corte y soldadura se efectúen siempre y cuando se confirme la ausencia de mezcla explosiva.
3. Las herramientas y equipos deberán estar en buenas condiciones de operación.
4. En todos los puntos donde haya ejecutado trabajos, el contratista deberá entregar el área limpia y libre de basura, escombros, etc.

La operación del **gasoducto** incluye el mantenimiento preventivo, cambio anual de equipo clave de regulación y monitoreo del gasoducto.

Los programas de mantenimiento preventivo y correctivo se apegarán en todo momento a "*Estándares Federales mínimos de seguridad: Transportación de gas natural y otros gases por gasoducto*" (Transportation of Natural and Other Gas by Pipeline: Minimum Federal Safety Standards).

#### **PROGRAMA DE MANTENIMIENTO E INSPECCION**

El presente programa aplica para el **gasoducto** en su totalidad.

Cada segmento del sistema de tubería que se vuelva inseguro será reemplazado, reparado o retirado de servicio. Las fugas deberán ser reparadas de inmediato, o bien reemplazar el segmento dañado.

El **gasoducto** será recorrido rutinariamente en forma diaria. Sin embargo deberá cumplir con los siguientes requerimientos adicionales:

#### ***Inspecciones***

El operador del sistema estará familiarizado con los procedimientos y realizar inspecciones de rutina en el equipo y el gasoducto como se requiera, por lo menos semanalmente para asegurar la confiabilidad del sistema. Estas inspecciones deberán ser realizadas en todas las estaciones de recepción y entrada, y deberán incluir la inspección de los siguientes puntos:

- A. Medición de flujo
- B. Presión de ajuste de los reguladores
- C. Operación del calentador catalítico (en invierno)
- D. Operación del calentador en línea
- E. Nivel del tanque odorizante

### ***Inspección de fugas***

Las inspecciones de fugas serán realizadas dos veces al año en todos los sistemas del **gasoducto**. Sin embargo cualquier desviación que se reporte y localice en el inter será corregida y, en caso necesario, programada para su reparación definitiva.

Las inspecciones emplearán uno o más de los siguientes procedimientos para identificar fugas subterráneas:

1. Inspección con Detector de gas (explosímetro)
2. Inspección de vegetación
3. Prueba de jabón en tubos y conexiones expuestas

### ***Vigilancia en el Gasoducto***

El Derecho de Vía de la tubería deberá ser inspeccionado y patrullado al menos una vez al mes para detección de fugas y actividad dentro de las cercanías del sistema que pudiera crear operación insegura. Las inspecciones al gasoducto se realizarán en vehículo terrestre y/o a pie a lo largo del Derecho de Vía para detectar evidencia de:

1. Evidencia de fugas por pérdida o cambio de color de la vegetación.
2. Daños a los marcadores (señalamientos) de la tubería.
3. Excavaciones realizadas por terceros que pudieran dañar el gasoducto.
4. Control de la maleza.

Cualquier indicación de fuga, ya sea por pérdida de vegetación, deberá ser inmediatamente confirmada por medio de una inspección con un detector de fugas de gas.

Los marcadores de la tubería serán inspeccionados durante la vigilancia; cualquier marcador dañado, gastado o perdido debe ser reemplazado durante la siguiente inspección Trimestral o antes si es posible.

Toda la vegetación que haya crecido en el Derecho de Vía alrededor de los marcadores, válvulas de desfogue y aislamiento, deberá cortarse al menos a 3 pulgadas sobre el nivel del suelo para maximizar la visibilidad en estos sitios.

Cualquier actividad de excavación hecha por terceros en la vecindad del gasoducto deberá ser notificada de inmediato, informando a los responsables de la excavación la ubicación del gasoducto y los riesgos de ruptura de tuberías.

### **Inspección de válvulas**

Serán inspeccionadas las válvulas de bloqueo al menos una vez al año para comprobar su accesibilidad y operabilidad. De preferencia, la inspección de válvulas será realizada en forma simultánea con la inspección de fugas.

Las válvulas de desfogue deberán ser examinadas en el sitio anualmente para asegurar su operabilidad. Cualquier válvula de descarga que falle al alcanzar el punto de disparo, deberá ser ajustada, o si se requiere, ser reemplazada. Las válvulas de corte en tubería de la válvula de desfogue deberán ser inspeccionadas para asegurarse de que operan correctamente.

Todas las inspecciones de válvulas deberán asegurar la instalación y protección adecuada contra polvo, líquidos o condiciones que puedan afectar en forma adversa la operación.

### **Reparaciones**

Cualquier parte dañada o deteriorada de una tubería deberá ser reparada tan pronto como sea posible. Asimismo, todas las fugas deberán ser reparadas inmediatamente.

Si ocurre algún tipo de daño, además de fuga, en una tubería de alta presión, la presión deberá ser reducida hasta un nivel seguro hasta que pueda programarse la reparación necesaria. Si la presión no puede reducirse, entonces la parte dañada deberá ser reparada inmediatamente.

Las reparaciones deberán hacerse retirando la parte dañada y reemplazándola con una tubería de resistencia similar o mayor.

Las reparaciones donde haya sido instalada una tubería nueva deberán someterse a una prueba de presión de acuerdo con los requerimientos para gasoductos nuevos.

## **IV. Resumen**

### **IV.1 Señalar las conclusiones del Estudio de Riesgo Ambiental**

El proyecto consiste en la instalación y operación de un **gasoducto de acero de 4 y 6"** de diámetro y **396 metros de longitud**, para la distribución de gas natural, así como la construcción de una **caseta de medición y regulación** en el interior del predio del usuario **Villaserre**. Lo anterior, permitirá la optimización de los procesos productivos de la empresa **Villaserre**, que se encuentra en construcción en el **Municipio de Silao de la Victoria, Estado de Guanajuato**, al introducir el uso de gas natural, con lo cual se beneficiará en forma significativa tanto para capacidad productiva de la planta, como el nivel de seguridad industrial y ambiental de la misma, así como la calidad del aire de la zona.

En caso de presentarse eventos de riesgo ambiental, tales fugas, incendios o incluso explosiones, la afectación potencial de la población (principalmente trabajadores de la empresa, y/o servicios aledaños al sitio del siniestro) estará en función de la magnitud del accidente fisicoquímico que tenga lugar (punto de localización dentro de la empresa contratante o a lo largo de sus **396 metros** de trayectoria), volumen de gas involucrado directamente, condiciones atmosféricas, tiempo de respuesta de las brigadas de emergencia, efecto dominó, etc.).

De acuerdo con los resultados obtenidos de la modelación realizada con la ayuda del paquete de simulación de escenarios "ARCHIE", se infiere que:

1. La presencia de una fuga de gas natural y la posterior formación de una nube inflamable es un evento muy poco probable, debido a la rápida dispersión del gas natural en la atmósfera por ser más ligero que el aire, y por los mecanismos de control y seguridad automáticos con que se cuenta. Sin embargo, para efectos prácticos se presentan los resultados de dichas modelaciones solamente con fines ilustrativos.
2. La formación de nubes inflamables estará en función de la dirección y velocidad del viento al momento de presentarse una fuga, y el riesgo dependerá también de la presencia de alguna fuente de ignición.
3. Con los datos proporcionados al modelo se obtuvo como resultado una explosión de pequeñas proporciones (ver **Anexo No. 7 Resultados de las modelaciones** realizadas), teniendo que la **onda de sobrepresión de 0.03 PSIG** abarca un **radio de 1,232.31 metros** a la redonda (**Caso No. 3**). No obstante, para fines prácticos se considera la **onda de sobrepresión de 0.5 psig**, considerada como el valor que determina el límite de la **Zona de Seguridad o de Amortiguamiento**, que puede presentarse hasta una distancia de **112.47 metros**, después de esta distancia no se presentan daños a las personas y ocasionalmente se provocan solo roturas de vidrios. La **onda de sobrepresión de 1.0 psig**, que representa el límite de la **Zona de Alto Riesgo**, alcanza una distancia de **64.92 metros**. Estos resultados se obtuvieron para un caso improbable de fuga de gas natural durante **1 minuto**, sin que actuara oportunamente la válvula SLAM-SHUT de cierre automático, ya que dicha válvula actúa inmediatamente una vez que detecta una caída de presión anormal en el sistema.
4. Debido a que la empresa contratante se localiza fuera de la mancha urbana del **Municipio de Silao de la Victoria**, colindante con extensos terrenos agrícolas, donde en algunos tramos existen algunos asentamientos humanos cercanos a la empresa que se conectará al **gasoducto**, por lo que los radios de afectación que pudieran sobrepasar tanto los límites de propiedad de la misma como a lo largo del trazo de la **tubería de acero** que conformará el gasoducto de gas natural de la empresa **Villaserre** no afectarían a terceros.

*Estos resultados se deben analizar con la reserva que merece cualquier simulación por computadora, ya que entre otras cosas no consideran las medidas de seguridad existentes, tales como los sistemas de control automáticos, reguladores de presión y válvulas de seguridad de desfogue para evitar sobrepresiones en el ducto, y los modelos no consideran toda la gama de variables posibles para cada evento.*

Los modelos utilizados del paquete de simulación del ARCHIE fueron:

- G) Evaluación del riesgo de chorros de flama o dardos de fuego.
- H) Evaluación del riesgo de fuego por nube o pluma de vapor.
- I) Evaluación del riesgo de explosión de nubes de vapor (no confinadas).

Debe tenerse en cuenta que cualquier proyecto industrial tiene un riesgo potencial de accidentes, sobre todo considerando las características de los materiales que se manejan. Es necesario enfatizar las medidas de seguridad y supervisión para la instalación, operación, mantenimiento del gasoducto, y la capacitación apropiada del personal.

En este sentido, debe recordarse que en todos los casos de simulación, se tomaron las peores condiciones posibles.

La conclusión final es que el proyecto de construcción del gasoducto que será operado por **Gas Natural Potosino** en el **Municipio de Silao de la Victoria, Estado de Guanajuato**, es totalmente confiable y de riesgo muy bajo, debido a que se utilizará tubería de **acero al carbón**, la longitud del gasoducto (**396 metros**), y la presión de operación es moderada, de **350 psi** en acero al carbón. El gasoducto se alojará en su totalidad en el predio de la empresa **Villaserre**.

Además, permitirá solucionar los problemas actuales de espacio, seguridad, costos y producción, garantizando que no se afectará el ambiente inmediato ni el entorno socioeconómico apartado de las instalaciones.

#### **IV.2 Hacer un resumen de la situación general que presenta el proyecto en materia de riesgo ambiental**

##### *Situación general*

El sitio del proyecto se encuentra ubicado en el **Municipio de Silao de la Victoria** dentro del **Estado de Guanajuato**.

La *Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México (2010)*, señala que el **Municipio de Silao de la Victoria** tiene las siguientes coordenadas geográficas latitud Norte 20° 56'24" longitud Oeste 100° 25' 59". Colindando al Norte y Este con el municipio de Guanajuato, al Sur con Irapuato, al Sureste con Romita y al Oeste con el de León. La altura sobre el nivel del mar del **Municipio de Silao de la Victoria** es de 1,780 metros sobre el nivel del mar.

El **Municipio de Silao de la Victoria, Estado de Guanajuato**, pertenece a la **Región III Centro** de acuerdo con el **Programa Estatal de Desarrollo Urbano y Ordenamiento Ecológico Territorial 2014**.

El **Municipio Silao de la Victoria** tiene una superficie de 538.72 kilómetros cuadrados, la cual representa el 1.76 % de la extensión territorial del estado.

El clima del **Municipio Silao de la Victoria** es semi-cálido en la mayoría del territorio, con lluvias en el verano y una temperatura media anual de 18°C, pudiendo alcanzar una temperatura de hasta 24°C en el mes de mayo y una mínima de hasta 15°C en los meses de diciembre y enero. Pero en la zona noroeste el clima varía a semi-seco, con una temperatura predominante mayor a los 18°C. Su precipitación pluvial varía de 600 a 800 milímetros.

El principal riesgo ambiental asociado a la operación normal del **gasoducto de acero al carbón de 4" y 6"** con **415 metros de longitud** que será instalado en el **Municipio de Silao, Guanajuato**, para suministro de gas natural a la empresa **Villaserre, S.P.R. de R.L. de C.V. (Villaserre)** motivo del presente estudio, es el generado por la remota probabilidad de una fuga de gas natural en presencia de una fuente de ignición, ya que dentro de la planta industrial se contará con equipos contraincendio y con brigadas de emergencia las 24 horas.

*Si bien la probabilidad de que ocurra algún evento de este tipo es mínima, es importante garantizar la seguridad de la instalación, llevando a cabo los programas proyectados en materia de seguridad, operación y mantenimiento.*

Se debe tener presente que existen muchas situaciones potenciales, donde el tiempo permitirá forzar una respuesta o detectar fugas y/o operar sistemas de emergencia para detener el flujo lo antes posible.

Además, la válvula de bloqueo que se localizará en el patín de medición de la Estación de Medición y Regulación en el punto de interconexión con el **Gasoductos del Bajío, S. de R.L. de C.V. (GdB)** de 16", **contará con un sistema de cierre automático por baja presión (SLAM-SHUT) que se activará casi instantáneamente después de presentarse una caída de presión anormal en el sistema, por lo que en realidad una fuga cercana a dicha válvula (en este caso en el patín de medición y regulación del punto de interconexión) no puede tener una duración mayor de unos segundos, y una fuga en algún punto del ducto tendría una duración no mayor de 1 minuto.**

Para la presente simulación se considera un solo punto de fuga, en el ducto (**siendo el caso 3 el más representativo para el gasoducto en su tramo de acero de 4"**). Sin embargo, los radios de afectación se pueden ubicar en cualquier parte del ducto, para efectos de determinar posibles eventos de fuga a lo largo del mismo.

Durante los modelos utilizados, no se consideró la pérdida de calor que experimenta el gas al escapar del ducto, ya que por cada 15 PSI que cae la presión, baja 1°F por la expansión súbita. Entre otros aspectos, esto puede provocar quemaduras por frío y fracturas en el material.

a. **RIESGO**

**El mayor riesgo potencial lo representa la fuga de gas natural tanto en la caseta regulación del usuario final, así como a lo largo de la trayectoria del gasoducto**, debido a diversos factores (fatiga de materiales, sobrepresión del ducto, falta de mantenimiento preventivo, **daño mecánico externo**, etc.) en la pared de la tubería, considerando que este evento tendría lugar bajo ciertas condiciones como puede ser ventilación deficiente y una atmósfera muy estable, podría provocar inclusive la formación de nubes inflamables y nubes explosivas. Este tipo de riesgos estarán en función de la fuga o exposición del gas al ambiente y a fuentes de ignición y calor.

### Áreas de Afectación

#### Nubes tóxicas

Debido a que la **Hoja de Datos de Seguridad de Pemex del gas natural (Anexo No. 5)** no reporta valores de TLV y de IDLH, ya que no se considera un gas tóxico, no se corrió el modelo de evaluación del riesgo de dispersión de vapores tóxicos.

#### Nubes inflamables

Las áreas de afectación de nubes inflamables, en el caso de una *estabilidad clase F*, se localizan dentro del área de la empresa **Villaserre**, para el caso de la modelación de fuga en un punto del **gasoducto**, para lo cual se escogió como área probable un punto al azar por la que pasa el ducto, a la latura de una zona con amplios espacios y donde los asentamientos humanos están incrementándose notoriamente.

La distancia de riesgo de formación de nubes inflamables es de apenas **87.48 metros** en dirección del viento, para una **estabilidad atmosférica clase F**.

#### Nubes Explosivas

De acuerdo con los resultados, considerando dentro del predio de la empresa contratante del servicio, la existencia de equipos contraincendio y de las medidas de seguridad a implementar, la generación de nubes explosivas es poco probable. La onda de sobrepresión que genera un 10% de ventanas rotas (1.0 PSIG: equivalente a **64.92 metros**), se encontraría dentro del usuario. La empresa **Villaserre** se ubica fuera de la mancha urbana del **Municipio de Silao de la Victoria**, en una zona agrícola por lo que se considera que no se afectará zonas habitacionales.

Se simuló la explosión de una nube de gas en algún punto del **gasoducto** escogido al azar donde no existen asentamientos humanos, ya que el gas natural es un gas con características explosivas. **Sin embargo, se debe tener presente que el gas natural es más ligero que el aire, y que en condiciones normales no tiende a formar nubes explosivas, ya que se dispersa rápidamente.**

El modelo no toma en cuenta el efecto de la topografía del terreno, edificios, árboles y otros obstáculos, ni el hecho de que **el ducto se encuentra enterrado a 60 centímetros de profundidad a lomo del ducto, cumplimiento con la profundidad mínima establecida en la norma oficial vigente al momento de su construcción.**

### IV.3 Presentar el Informe Técnico debidamente llenado

Ver Anexo 8.

## **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**

Se presentan planos correspondientes al trazo del proyecto:

- Plano No. 1. Trazo General del Ducto a Construir con coordenadas.
- Plano No. 2 Fotografía Aérea del Ducto a Construir.

#### **V.1.2 Fotografías**

Se incluye un anexo fotográfico con imágenes representativas del trazo del proyecto, así como de las colindancias, tomadas durante los recorridos de campo.

#### **V.1.3 Videos**

No se presenta.

### **V.2 Otros Anexos**

#### **Anexo 1. Documentación Legal**

#### **Anexo 2. Cartografía**

- Carta topográfica F14C52 Silao de la Victoria
- Mapas

#### **Anexo 3. Anexo fotográfico**

- Anexo fotográfico Villaserre
- Relación de fotos Villaserre

#### **Anexo 4. Planos**

- Plano No. 1. Trazo General del Ducto a Construir con coordenadas.
- Plano No. 2 Fotografía Aérea del Ducto a Construir.
- Caseta Villaserre
- Toppográfico Gas Natural Potosino
- Villaserre Medición
- Villaserre Regulación
- DTI's Interconexión
- DTI's Villaserre

#### **Anexo 5. Hoja de Seguridad del Gas Natural**

- Hoja de Datos de Seguridad del Gas Natural

## Anexo 6. Otros

- Información ambiental Villaserre
- Memoria Técnico-Descriptiva Villaserre
- Primer listado de actividades altamente riesgosas
- Segundo listado de actividades altamente riesgosas
- Tabla Normal Climatológica Aldama
- Teléfonos de emergencia Silao
- Folletos de reguladores
- Guía 115 CANUTEC-1
- Manual de operación Rev 2012
- PS-003-00 Número de emergencias Rev04
- Plan de comunicación social
- Tabla Normal Climatológica Aldama
- Teléfonos de Emergencia Sialo

## Anexo 7. Resultado de las modelaciones y radios de potenciales de afectación (diagrama pétalos)

- Calculo purga empaque Villaserre
- Modelaciones
- Radios
- Hazop

## Anexo 8. Informe Técnico del Estudio de Riesgo Ambiental

  
PROTESTO BAJO PROMESA DE DECIR VERDAD.

\_\_\_\_\_  
M. en C. Juan Carlos Windfield  
Director Ejecutivo de  
JWINDFIELD, S.A. DE C.V.

*Responsable de la elaboración del Estudio de Riesgo Ambiental.*

En términos del artículo 35-BIS 1 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente, y 36 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente en Materia de Evaluación de Impacto Ambiental, se declara bajo protesta de decir verdad que los resultados se obtuvieron a través de la aplicación de las mejores técnicas y metodologías comúnmente utilizadas por la comunidad científica del país y del uso de la mayor información disponible, y que las medidas de prevención y mitigación sugeridas son las más efectivas para atenuar los impactos ambientales.