

---

---

## VI. Análisis y evaluación de riesgos

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 la **Estación de Regulación y Medición, el ducto, la Estación de Compresión y el semirremolque** que transporta 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 (Índice Mond), 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 de la evaluación del **“Índice de Mond”** el cual proporciona un rango relativo de los riesgos inherentes al sistema en cuestión. Este método está basado en la idea de penalizar y bonificar las acciones y consideraciones del sistema, desde la etapa de diseño y hasta la operación y mantenimiento, pasando por las medidas de seguridad y prácticas recomendadas de prevención de accidentes. Las penalizaciones se asignan a condiciones del sistema que puedan contribuir a la aparición de un accidente tales como las características del producto, cantidad del mismo, severidad de los parámetros de operación, efecto dominó, etc. Las bonificaciones en cambio se asignan a las características del sistema que puedan mitigar los posibles accidentes, incluidas en este rubro las condiciones de seguridad, sistemas de emergencia, control, contención, protección contra incendios, etc. De esta manera nos proporciona una guía muy útil para identificar áreas de oportunidad que permitan lograr tener un sistema más seguro y confiable. Como apoyo a lo anterior, se aplica una técnica cuantitativa de matriz de frecuencia contra consecuencia para poder jerarquizar y obtener 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.

### **VI.1 Antecedentes de accidentes e incidentes ocurridos en ductos similares, describiendo brevemente el evento, las causas, sustancia(s) involucrada(s), nivel de afectación y en su caso, acciones realizadas para su atención.**

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

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

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

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

---

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. 6 Información Básica sobre el Gas Natural**.

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.

**VI.2 Identificar los puntos probables de riesgo, empleando una metodología específica (p.ej. Que pasa si/Lista de Verificación, Hazid, Hazop, Arbol de Fallas) o en su caso, cualquier otra cuyos alcances y profundidad de identificación sean similares, debiéndose aplicar la metodología de acuerdo a las especificaciones propias de la misma. En caso de modificar la aplicación, deberá sustentarse técnicamente.**

**a) *Metodología empleada para la identificación de riesgos***

En la determinación de riesgos que pudieran estar presentes durante la operación del gasoducto y su caseta de medición, se utilizó la metodología **HAZOP** (ver **Anexo No. 8: Análisis de Riesgo por el método HAZOP**), Hazard and Operability Studies (Análisis de Riesgo y Operabilidad).

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 al ejecutarse en forma sistemática, reduce las posibilidades de que algún punto no sea analizado.

El HAZOP se considera como un concepto de seguridad del proceso para protección del personal, instalaciones y comunidades. Las principales características que lo hacen superior a otros métodos para la detección de riesgos son:

- es sistemático
- es organizado
- está bien estructurado

Con el fin de tener una mayor sensibilidad de los riesgos que tendrá la operación de la **Estación de Compresión, así como la longitud del ducto de 4" (por instalar), la Estación de Regulación y Medición, la maguera de abastecimiento y los cilindros dentro del semirremolque,** aplicaremos la metodología HAZOP al **sistema de tuberías de acero al carbón aéreas,** que incluye válvulas, juntas, bridas y empaques.

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 de **la Estación de Compresión.** En este estudio emplearemos las palabras guías 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.

Los parámetros de proceso que se consideraron son:

- Presión
- Temperatura
- Flujo

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.

El desarrollo de esta metodología se muestra en el **Anexo No. 6.**

### ***b) Puntos de Riesgo Identificados***

Derivado del Análisis de Riesgos por el método HAZOP, se determinaron los puntos de riesgo de las instalaciones de la siguiente manera:

#### **DUCTO:**

- 1.- Fuga de gas natural debido a fisuras en la estructura, por error humano, o por agentes externos.
- 2.- Incendio o conato de incendio, provocado por una fuente de ignición.

---

---

## CUADROS DE REGULACIÓN:

- 1.- Fuga de gas natural debido a:
  - a) Una deficiente conexión del sistema de tuberías de conducción.
  - b) Por mal trato de la misma.
  - c) Por desgaste o mal estado de válvulas y conexiones.
  - d) Por mal funcionamiento del sistema.
  - e) Descontrol de la presión.
- 2.- Incendio o explosión debido a:
  - a) Fuga de gas natural en presencia de una fuente de ignición.
  - b) Corto circuito en la instalación eléctrica.

### MANGUERA FLEXIBLE

- a) Fuga de gas por error humano por una mala conexión en el momento de abastecer al semirremolque.

### CILINDRO

- a) Accidente en el trayecto de la ruta, perforando en uno de los cilindros con gas comprimido.

## Riesgos potenciales identificados.

### 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 75 centímetros de profundidad, 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 ducto que transporta gas natural hacia la Estación de Compresión, constará de un **sistema de alta presión (300 psi) conformado por un ducto de acero de 4"**, de aproximadamente **130 metros** de longitud, 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 localizada en el patín de medición del punto de interconexión contará con un sistema de cierre automático por baja presión (SLAM-SHUT)** que se activa 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 30 segundos a 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)

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
Total	97		\$10 950 673		16	43

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.

---

---

## 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.

**VI.3 Determinar los radios potenciales de afectación, a través de la aplicación de modelos matemáticos de simulación, del o los eventos máximos probables de riesgo, identificados en el punto VI.2, e incluir la memoria de cálculo para la determinación de los gastos, volúmenes y tiempos de fuga utilizados en las simulaciones, debiendo justificar y sustentar todos y cada uno de los datos empleados en estas determinaciones.**

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 evaluar la magnitud de las consecuencias o daños que ocasionarían accidentes o eventos relacionados con la liberación o emisión de **gas natural**, se realizó utilizando el programa de simulación conocido como:

---

**Automated Resource for Chemical Hazard Incident Evaluation** (ARCHIE, ver.1.00).

Federal Emergency Management Agency, U.S.A.  
U.S. Department of Transportation  
U.S. Environmental Protection Agency  
Microsoft Corp. 1982-1986

Este programa fue desarrollado por el Gobierno Federal de los Estados Unidos a través de la Administración de Programas Especiales e Investigación de la Oficina de Transporte de Materiales Peligrosos de su Departamento de Transportación. Considerando los criterios del Instituto Americano de Ingenieros Químicos de U.S.A., AICHE y del Banco Mundial.

Este simulador de riesgo es aceptado por la Ocupacional Safety and Health Administration (OSHA) y la United States Environmental Protection Agency (USEPA).

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. 6**.

Es importante señalar que las simulaciones que se presentan fueron realizadas observando las condiciones climatológicas y meteorológicas extremas del sitio en estudio (capítulo 3, del presente estudio), 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

	ALTO RIESGO	AMORTIGUAMIENTO
Explosividad (sobre presión)	0.070 Kg/cm <sup>2</sup> ( <b>1 psig</b> )	0.035 Kg/cm <sup>2</sup> ( <b>0.5 psig</b> )
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.

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 las **Estaciones de Regulación y Medición** respecto a los sistemas de emergencia de las empresas contratantes (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 las válvulas SLAM SHUT es de **1 minuto**, además de que las instalaciones no se encuentran aisladas, y cuentan con vigilancia continua.

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 neutra 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 transporta 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 inciso **V.4.1**.

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 5 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.

**Evaluación del evento.**

La manifestación del evento de fuga e incendio del **gas natural** que puede ocurrir durante su transporte a través del **ducto de acero de 4" de diámetro**, y de las líneas que componen los trenes de los patines 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 **ACCESGAS** 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.

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 ½" pulgada y 4" y 0.8" de diámetro (estas últimas dos veces por requerimiento de la Guía)**, 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 tendrá una capacidad de flujo máxima de **84,960 m<sup>3</sup>/día (3,000 MMBTU/día)** aproximadamente, operando a **2,068.42 kPa (300 psig)**, y a una temperatura de operación de 30°C.

## 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. 6**) 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 para los diferentes riesgos asociados se encuentran en los **Anexos No. 6 y 7**.

Aunque este tipo de accidente es poco probable que ocurra, sobre todo en el interior de los predios de los usuarios finales, debido a que en las empresas se cuenta con toda clase de medidas de seguridad, incluyendo pararrayos, alarmas, sistema contra incendio, extinguidores, etc. cercanos a cada **Estación de Regulación y Medición** de cada uno de ellos, 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 NO. 1:** FUGA ACCIDENTAL DE GAS NATURAL POR UN ORIFICIO EQUIVALENTE A 1/2" DE DIÁMETRO, EN UNA JUNTA O BRIDA PREVIO A LA REGULACIÓN DE LA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y MEDICIÓN (ERM) (PUNTO DONDE SE LOCALIZA LA PRESIÓN MAS ALTA DEL SISTEMA) UBICADA DENTRO DEL PREDIO PROPIEDAD DE ACCESGAS, DURANTE UN TIEMPO PROMEDIO DE **30 MINUTOS**, QUE ES EL TIEMPO REQUERIDO ANTES DE QUE SE ACTIVE EL PROGRAMA DE ATENCION DE EMERGENCIAS Y QUE EL PERSONAL DE SEGURIDAD DE **ACCESGAS**, CIERRE LAS VALVULAS DE SECCIONAMIENTO QUE AISLEN EL SISTEMA.

**CASO NO. 2:** FUGA ACCIDENTAL DE GAS NATURAL POR UN ORIFICIO EQUIVALENTE A UN 20% DEL DIÁMETRO NOMINAL (DIÁMETRO NOMINAL = 4"), EN UN TRAMO DE TUBO DEBIDO A UNA RUPTURA DEL MISMO, ESTO EN UN PUNTO POSTERIOR A LA ERM Y PREVIO AL CABEZAL DE SUCCION DE LOS COMPRESORES, DURANTE **30 MINUTOS**, QUE ES EL TIEMPO REQUERIDO ANTES DE QUE SE ACTIVE EL PROGRAMA DE ATENCION DE EMERGENCIAS Y QUE EL PERSONAL DE SEGURIDAD, CIERRE LAS VALVULAS DE SECCIONAMIENTO QUE AISLEN EL SISTEMA.

**CASO NO. 3:** FUGA ACCIDENTAL DE GAS NATURAL POR UN ORIFICIO EQUIVALENTE A 4" DE DIÁMETRO, SE CONSIDERA RUPTURA TOTAL DEL DUCTO, ESTO EN UN TRAMO DE TUBERÍA POSTERIOR A LA ERM Y PREVIO AL CABEZAL DE SUCCIÓN DE LOS COMPRESORES, DURANTE UN TIEMPO PROMEDIO DE **30 MINUTOS**, QUE ES EL TIEMPO REQUERIDO ANTES DE QUE SE ACTIVE EL PROGRAMA DE ATENCION DE EMERGENCIAS Y QUE EL PERSONAL DE SEGURIDAD DE **ACCESGAS** LA PLANTA, CIERRE LAS VALVULAS DE SECCIONAMIENTO QUE AISLEN EL SISTEMA.

- **NOTA:** Para el área de llenado, no se considera simulación de algún evento, esto debido a que en cuanto se presente una fuga en la manguera o en la conexión de la misma con el semirremolque, se cierra en automático la válvula del cabezal de descarga de los compresores, frenando así todo suministro hacia el semirremolque.

### **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 300 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 **314.7 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 un 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 **40.23 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 Villagrán con varias construcciones**, cerca de la **Estación de Medición y Regulación y de la Estación de Gas Natural de Compresión**.

Debido a su alta inflamabilidad y explosividad, los Casos 1 y 2 son los de mayor riesgo de afectaciones, ya que una explosión liberaría la energía necesaria para provocar daños de leves a moderados a personas e instalaciones, como se podrá ver en los radios reportados en el Anexo 6 y 7.

Con base en los escenarios simulados se podrá notar que el mayor riesgo en el proyecto es 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. 6**.

---

---

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

Considerando en su totalidad el sistema de conducción de gas natural (**ducto de acero de 4"**, y cuadros o patines de regulación) **podemos considerar que el riesgo muy bajo**, dadas las características de inflamabilidad del gas natural, la mediana presión de operación, y la presencia de otras empresas dentro de la zona. No existen casas habitación, escuelas, iglesias o centros de reunión en las colindancias inmediatas del trazo.

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**

Para el desarrollo de esta etapa se optó por aplicar una metodología semicuantitativa para la jerarquización de los riesgos, la cual aunque no llega al detalle y rigor de una evaluación cuantitativa, supone un avance hacia ello desde los métodos cualitativos, dado que el resultado obtenido es una clasificación relativa del riesgo asociado a la planta o a partes de la misma.

Este método conocido como "Índice de Mond" fue desarrollado por técnicos de Imperial Chemical Industries (ICI) a partir del Índice DOW. La primera versión fue publicada en 1979 y la segunda en 1985.

Dicho método se basa en la asignación de penalizaciones y/o bonificaciones a diferentes áreas e instalaciones de una planta química. Las penalizaciones son asignadas en función de las sustancias presentes y las condiciones de proceso. Dichas bonificaciones tienen en cuenta las instalaciones de seguridad que pueden mitigar o prevenir efectos adversos a la operación de la instalación.

Esta metodología encuentra su empleo como método de clasificación previa en grandes unidades o complejos como la que estamos estudiando, permitiendo de esta forma identificar y clasificar las áreas con mayor riesgo potencial, a las que se deben aplicar otro tipo de eventos de mayor interés tomando en cuenta los escenarios de incidentes más recurrentes y sus efectos, de una manera objetiva y práctica. Asimismo, genera las bases para la etapa posterior de evaluación de consecuencias con métodos convencionales.

La principal diferencia frente al "Índice DOW" es que se considera la toxicidad de las sustancias presentes como un factor independiente y su efecto en contacto con el ser humano.

## Rangos de Clasificación de los Diferentes Índices Calculados

### *Cálculo del Índice Global DOW/ICI*

Los factores individuales incluidos en los diferentes rubros, se totalizan en varios subgrupos que después, se incluyen en el Índice Global DOW/ICI **D**, según las bases establecidas originalmente por DOW.

Las descripciones del grado de riesgo global representado por el Índice Global DOW/ICI se estandarizan como sigue:

Rango del Índice Global DOW/ICI (D)	Grado Total de Riesgo
0 – 20	Suave
20 – 40	Ligero
40 – 60	Moderado
60 – 75	Moderadamente Alto
75 – 90	Alto
90 – 115	Extremo
115 – 150	Muy Extremo
150 – 200	Potencialmente Catastrófico
Mayor a 200	Muy Catastrófico

### **Cálculo de Potencial de Fuego**

Se considera útil estimar el potencial de fuego de la unidad por que esto da una indicación de la duración del fuego en el caso de un incidente.

Se han dado también categorías para los valores de la cantidad de fuego F y se han identificado con duraciones de fuego usando datos y registros de incidentes como sigue:

Cantidad de Fuego (F) en BTU/ft <sup>2</sup> del Área Normal de Trabajo	Categoría	Rango de Duración (Fuego-Horas)	Comentarios
0 – 50,000	Ligero	¼ - ½	
50,000 – 100,000	Bajo	½ - 1	Casas
100,000 – 200,000	Moderado	1 – 2	Fábricas
200,000 – 400,000	Alto	2 – 4	Fábricas
400,000 – 1'000,000	Muy Alto	4 – 10	Edificios ocupados
1'000,000 – 2'000,000	Intenso	10 – 20	Bodegas de Hule
2'000,000 – 5'000,000	Extremo	20 – 50	
5'000,000 – 10'000,000	Muy Extremo	50 -100	

### ***Cálculo de Potencial de Explosión***

En determinadas situaciones se observará que un nivel dado de categoría del Índice Global DOW/ICI, se acompañará por una cantidad de Fuego de menor categoría. Esto indica que se deben examinar variaciones en el Riesgo de Explosión, lo que se hace de las dos siguientes formas:

Se calcula un Índice E de explosión interna de la planta, como una medida del riesgo de explosión interior. Las categorías asignadas a los valores del Índice son:

Índice de Explosión Interna de la Sección (E)	Categoría
0 – 1	Ligero
1 – 2.5	Bajo
2.5 – 4	Moderado
4 – 6	Alto
Arriba de 6	Muy Alto

Esto no representa el único potencial de explosión de la sección, como lo confirma el consenso general acerca de los riesgos de explosión aérea. De un estudio de un gran número de escapes de sustancias inflamables que han dado lugar ya sea a explosiones aéreas o a nubes que han causado únicamente fuego por ignición, ha sido posible identificar un número de factores incluidos en el Índice de Mond y que pueden usarse para derivar el Índice A de Explosión Aérea.

Las categorías asignadas a varios valores de A son:

Índice de Explosión Aérea (A)	Categoría
0 – 10	Ligero
10 – 30	Bajo
30 – 100	Moderado
100 – 500	Alto
Arriba de 500	Muy Alto

### Cálculo de Riesgos de Toxicidad

Un índice unitario de Toxicidad U se calcula de manera que represente la influencia de la toxicidad y consideraciones afines sobre el control y supervisión de la sección de la planta. Las categorías asignadas a los valores del Índice Unitario de Toxicidad U son:

Índice Unitario de Toxicidad (U)	Categoría
0 – 1	Ligero
1 – 3	Bajo
3 – 6	Moderado
6 – 10	Alto
Arriba de 10	Muy Alto

Usando una combinación del Índice Unitario de Toxicidad U y el Factor de Cantidad Q, se obtiene el Índice del Máximo incidente Tóxico C.

Las categorías asignadas a valores del Índice C del Máximo incidente Tóxico son:

Índice del Máximo Incidente Tóxico (C)	Categoría
0 – 20	Ligero
20 – 50	Bajo
50 – 200	Moderado
200 – 500	Alto
Arriba de 500	Muy Alto

### ***Cálculo de Factor Global de Riesgos (MOND)***

En la división MOND se ha visto que la magnitud global de riesgo a usarse cuando se considera el arreglo de equipo de una planta, debe tener mayor influencia de los siguientes factores que lo permitido en el Índice Global DOW/ICI.

De acuerdo a lo anterior, se ha desarrollado una Magnitud Global de Riesgos R, que maneja estos factores de manera más adecuada.

Las categorías asignadas a los valores del Factor Global de Riesgo R son:

Factor Global de Riesgo (R)	Categoría del Riesgo Global
0 – 20	Suave
20 – 100	Bajo
100 – 500	Moderado
500 – 1,100	Alto (Grupo 1) Aceptable
1,100 – 2,500	Alto (Grupo 2) No Aceptable
2,500 – 12,500	Muy Alto
12,500 – 65,000	Extremo
Mayor a 65,000	Muy extremo

---

---

## **RESUMEN DE LA APLICACIÓN DEL INDICE DE MOND AL PROYECTO**

El Factor R de Riesgo Global (más los otros índices) se pueden considerar aceptables; en caso contrario, se requerirá trabajo posterior para lograr tal objetivo. El primer paso es revisar los factores individuales y asegurarse si se puede hacer una reducción por cualquiera de las siguientes razones:

Si se ha sobre enfatizado un riesgo dado en la estimación general.

Alteraciones hechas a tamaños, condiciones de operación, etc., relativas a las unidades que forman parte de la sección.

Sustitución por diferentes tipos de equipo de proceso de aquellos seleccionados originalmente.

Adopción de diseños de equipo que involucren menos riesgo de falla de operación de la unidad o fuga de materiales clave.

En el caso de propuestas para una planta con proceso nuevo, pueden existir pocas posibilidades de efectuar cambios a menos que se efectúe una investigación adecuada de las alternativas. Si un cambio en particular puede reducir en forma considerable el riesgo, se justifica el trabajo de investigación necesario.

Con plantas en operación, los registros y experiencia de accidentes pueden tomarse como guía para mejorar diseños y técnicas de operación. Sin embargo debe tenerse cuidado al usar las experiencias de operación para disminuir los factores de riesgo en áreas donde no se hayan presentado accidentes.

Si no se cumple con estos requisitos, es fácil concluir que no existe riesgo y por un incidente posterior confirmar que el riesgo existía, pero no se había presentado debido a circunstancias fortuitas. Siempre que los factores de riesgo individual se reduzcan, el nuevo valor debe aparecer en una columna de "valor reducido" en los formatos correspondientes y deberá adicionarse una nota de la razón del cambio. Una vez que los cambios individuales se hayan hecho, los varios índices se deben re-calcular.

### Tabulación de los resultados

A continuación se presentarán tabulados los resultados obtenidos para cada sección de estudio, los cuales se estructuraron a partir de los reportes del "Índice de Mond" correspondientes (Ver tabla anexa) y podrá de esta manera verse el grado de influencia que tuvieron para considerar y abatir los riesgos involucrados:

### Estación de Compresión de Gas Natural

Índice	Inicial	Valor	Categoría
Índice DOW Equivalente	<b>D</b>	306.95	Muy Catastrófico
Índice de Riesgo de Incendio	<b>F</b>	0.0193	Ligero
Índice de Riesgo de Explosión Interna	<b>E</b>	5.1	Alto
Índice de Riesgo de Explosión Aérea	<b>A</b>	14.81	Bajo
Índice Global de Riesgo	<b>R</b>	<b>474.34</b>	<b>Moderado</b>

Índice con Reducción	Inicial	Valor	Categoría
Índice DOW Equivalente Reducido	<b>D<sub>R</sub></b>	141.88	Muy Extremo
Índice de Riesgo de Incendio Reducido	<b>F<sub>R</sub></b>	0.00682	Ligero
Índice de Riesgo de Explosión Interna Reducido	<b>E<sub>R</sub></b>	2.62	Moderado
Índice de Riesgo de Explosión Aérea Reducido	<b>A<sub>R</sub></b>	0.06	Ligero
Índice Global de Riesgo Reducido	<b>R<sub>R</sub></b>	<b>30.70</b>	<b>Bajo</b>

De acuerdo a la metodología que se propuso (**HAZOP**) para la **identificación de los puntos de riesgo de las instalaciones** y de la **evaluación del riesgo** (programa **ARCHIE**), el orden en que se pueden presentar los eventos de riesgo pueden ser de forma aislada o secuencial.

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.
- 2.- Formación de una nube de gas inflamable y explosivo.
- 3.- Incendio de la nube de gas.
- 4.- Explosión de la nube de gas.

Jerarquizando los dos componentes del sistema de conducción del gas natural (ducto y cuadros de regulación), con base en la posible frecuencia y magnitud del riesgo probable en estas fases, se infiere que, en orden descendente de riesgo, la importancia será:

- 
- Cuadro de regulación en el punto de interconexión con el **gasoducto de PEMEX de 36"**.
  - Ducto de acero de 4" (longitud aproximada de 130 metros por construir).
  - Cuadro de Compresión de Gas Natural.
  - Manguera flexible para el abastecimiento a los cilindros.
  - Semirremolques

Los riesgos identificados en este análisis se jerarquizan por su mayor peligrosidad. Primeramente se presenta en orden descendente de peligrosidad, las áreas que presentan mayor riesgo **por la presencia de válvulas, reguladores y reductores de presión** y en cada área se presentan a su vez los principales riesgos en orden descendente de peligrosidad.

La jerarquización de los riesgos también considera la posible formación de nubes inflamables y/o explosivas bajo ciertas condiciones de estabilidad atmosférica.

**1. Fuga de gas natural en el cuadro de medición y regulación principal (punto de interconexión con el gasoducto de PEMEX de 36")**

- a) Fuga a través de una válvula en mal estado
- b) Fuga por ruptura de tubería
- c) Fuga a través de una conexión defectuosa de tuberías
- d) Falla de equipos automáticos de medición y control.
- e) Falla de equipos debido a vandalismo

**2. 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

**3. 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
- 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).

#### **VI.4 Representar las zonas de alto riesgo y amortiguamiento en un plano a escala adecuada, donde se indiquen los puntos de interés que pudieran verse afectados (asentamientos humanos, cuerpos de agua, vías de comunicación, caminos, etc.).**

En el **Anexo No. 7** se presentan los radios de afectación de las modelaciones realizadas. Para definir y justificar las zonas de seguridad al entorno del gasoducto proyectado, se consideró en las simulaciones de explosividad el 10% de la energía liberada, es decir, **un valor de 0.1 para el factor de producción de explosión**, que es la fracción de energía en una nube que será empleada en una explosión. Lo anterior, de acuerdo a lo dispuesto en la *Guía para la Presentación del Estudio de Riesgo Ambiental Nivel 0 Ductos Terrestres*, editado por la SEMARNAT.

En los radios de afectación o diagrama de pétalos, para determinar la **Zona de Alto Riesgo** se utilizó como referencia la **onda de sobrepresión equivalente a 1.0 lb/plg<sup>2</sup> (0.070 kg/cm<sup>2</sup>)** y para la **Zona de Amortiguamiento** se utilizó la **onda de sobrepresión correspondiente a 0.5 lb/plg<sup>2</sup> (0.035 kg/cm<sup>2</sup>)**. Para el caso de las modelaciones de inflamabilidad (radiación térmica), la **Zona de Alto Riesgo** corresponde al valor de 5 kW/m<sup>2</sup>, mientras que para la **Zona de Amortiguamiento** se utiliza el valor de 1.4 kW/m<sup>2</sup>.

#### **VI.5 Realizar un análisis y evaluación de posibles interacciones de riesgo con otras áreas, equipos o instalaciones próximas a la instalación que se encuentren dentro de la Zona de Alto Riesgo, indicando las medidas preventivas orientadas a la reducción del riesgo de las mismas.**

Existe un gasoducto de **36"** propiedad de **PEMEX**, al cual se interconectará el gasoducto de **ACCESGAS**, que transportará el gas natural hasta la **Estación de Compresión**, en el **Municipio Villagrán**.

El ducto pasará cerca de diversas casas-habitación pertenecientes a asentamientos humanos regulares e irregulares del Municipio de **Villagrán** Estado de **Guanajuato**.

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

#### **VI.6 Indicar claramente las recomendaciones técnico operativas resultantes de la aplicación de la metodología para la identificación de riesgos, así como de la evaluación de los mismos, señalados en los puntos VI.2 y VI.3.**

Las recomendaciones que se consideran son las siguientes:

##### **Etapas 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.

#### **Etapas 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.
- Programación bianual de corrida de diablos de limpieza
- Monitoreo continuo, inspección y limpieza de las instalaciones exteriores, tales como casetas de medición y regulación, **estación de compresión**, 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 aparte de supervisar el Derecho de Vía 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 **PEMEX** y las autoridades locales de atención a emergencias, así como la promoción de un Comité Local de Ayuda Mutua con las empresas vecinas.
- 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 para la 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 calcatín 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 **auditorías 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 de la Estación de Compresión.
- 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 a la Estación de Compresión.
- Realizar un Programa para la Prevención de Accidentes, de acuerdo con las guías de la SEMARNAT y la CRE.

**VI.7 Presentar reporte del resultado de la última auditoria de seguridad practicada a las instalaciones que conforman el ducto, anexando en su caso, el programa calendarizado para el cumplimiento de las recomendaciones resultantes de la misma.**

No aplica por tratarse de un proyecto nuevo.

---

---

## VI.8 Describir a detalle las medidas, equipos, dispositivos y sistemas de seguridad con que contará la instalación, considerados para la prevención, control y atención de eventos extraordinarios.

### Reducción de Riesgos Mediante Medidas Preventivas

#### 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 cabezal. 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 que se localizará en el patín de medición del punto de interconexión 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, se incorporará un **sistema odorante a base de mercaptano** (etil

mercaptano) para detectar posibles fugas mediante el olfato. Esta sustancia 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) y “tachuelas” 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 regulación y medición en el punto de interconexión contará con **sistema computador-controlador automático de flujo, el cual incluirá monitoreo de la composición por medio de un cromatógrafo**.
- El tablero de control estará ubicado en cada caseta. 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 un **programa de coordinación con la comunidad y autoridades** para atención a emergencias.

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.
- Las casetas de regulación deberán estar limpias y ordenadas, con los accesos libres, sin ninguna obstrucción.
- En las empresas contratistas, 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 **ACCESGAS**, 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 **ACCESGAS**, 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 **ACCESGAS**.
- 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 **ACCESGAS**, contará con lo siguiente:

- Manuales de procedimientos para la construcción de gasoductos.
- Manuales de procedimientos para la operación de gasoductos.
- **Manuales de procedimientos para la instalación de la Estación de Compresión**
- 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 y la **Estación de Compresión**. 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 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.

---

---

**VI.9 Indicar las medidas preventivas, incluidos los programas de mantenimiento e inspección, así como los programas de contingencias que se aplicarán durante la operación normal de la instalación, para evitar el deterioro del medio ambiente, además de aquellas orientadas a la restauración de la zona afectada en caso de accidente.**

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 y la **Estación de Compresión** 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. Se llevará un control ya sea cortando la vegetación o mediante esterilización del suelo.

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.

### **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 transporte de hidrocarburos gaseosos, se le probará herméticamente (hidrostática o neumáticamente) antes de entrar en operación.

### **Prueba hidrostáticas**

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



*A toda la tubería será necesario realizar pruebas hidrostáticas. La prueba de hermeticidad puede ser con agua o gas inerte (N<sub>2</sub>).*

Los métodos y requerimientos para las pruebas de presión hidrostática deberán cumplir como mínimo con lo establecido en la **NOM-007-SECRE-2010**, párrafo 10.3.

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 que ha sido utilizada en la**

---

**prueba hidrostática no requiere de ningún tipo de tratamiento**, por lo que es práctica común a nivel internacional el darle la disposición que se desee (disponerla en cuerpos de agua, utilizarla para riego, etc.), ya que no se modificaron 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 cursos 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 curso de agua es el 10 % del mismo, etc.*

La prueba de hermeticidad puede ser con agua o gas inerte (N<sub>2</sub>). 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.

### **Protección contra la Corrosión**

Todo el ducto de acero, así como la tubería aérea de la estación de medición y regulación, se protegerá con un primario y acabado adecuados para el ambiente de la zona. Se instalarán ánodos de magnesio para proteger los tramos de tubería de acero.

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 (página Web: <http://www.napca.com>), sólo se cubrirán en el sitio los accesorios y las soldaduras de campo.



En el caso de la tubería aérea de la caseta de medición y regulación se protegerá con un primario y acabado adecuados para el ambiente de la zona. La caseta es prefabricada y será pintada en la planta del fabricante.

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 directa proveniente 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, y
- b) Corriente impresa.

Para el presente proyecto, se protegerá el **ducto de acero** desde la interconexión con **el ducto de PGPB de 36"**, hasta la **Estación de Compresión utilizando ánodos de sacrificio de magnesio** de alta potencia; enterrados al inicio y **a cielo abierto después de la ERM** del ducto, de acuerdo a 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-007-SECRE-2010**.



Se instalarán **estaciones de prueba** de tipo autosoportado (una en la interconexión, otra a la salida de la caseta de interconexión), 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.

**Juntas aislantes:** Su misión es intercalarse en la conducción de forma que separa eléctricamente partes de las instalaciones de superficie y enterradas. Se instalará una junta aislante tipo “monoblock”, en el punto de interconexión con el **gasoducto de PEMEX.**

### Radiografiado de soldadura.

**ACCESGAS** ejercerá un control continuo del trabajo de soldadura e inspeccionará visualmente la calidad de todas las soldaduras. En la **tubería de acero**, los tramos se unen por medio de soldadura eléctrica.

Toda la soldadura en tubería de acero se llevará a cabo utilizando un procedimiento de soldadura calificado y soldadores calificados.

Para el caso de la tubería de acero, se contratará a una compañía especializada en inspección y radiografiado, asegurándose que el personal del contratista de radiografiado esté calificado y tome las medidas de seguridad adecuadas para evitar daños al personal propio, de la compañía y público en general que pasen o se ubiquen cercanos al sitio de la obra, manteniendo señalizada el área



Una vez finalizada la soldadura, se realiza una radiografía de cada una de las uniones del ducto, así como en las soldaduras de la estación de medición y regulación del punto de interconexión, con un equipo especial que permite detectar la existencia de posibles defectos y repararlos antes de enterrar la tubería.

---

---

El punto de interconexión con el **gasoducto de PEMEX**, así como la **Estación de medición y regulación**, será 100% radiografiadas, en cumplimiento con la **NOM-007-SECRE-2010** párrafo 8.12, la parte 192.241 y 243 de los Estándares mínimos de seguridad del *U.S. Department of Transportation*, y ASME B31.8 826.

La inspección radiográfica será hecha por un técnico calificado en radiografía y cumpliendo los requerimientos de API 1104. Las soldaduras que se consideren defectuosas deberán ser reparadas o reemplazadas de acuerdo con las especificaciones de **ACCESGAS**, y deberán ser radiografiadas nuevamente.

### **Prueba radiográfica**

En el caso del gasoducto de acero y del punto de interconexión con el ducto de **PEMEX**, así como en la estación de medición y regulación del punto de interconexión, 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.

Equipo con que se contará, para llevar a cabo los diversos programas de inspección de las instalaciones.

- Calibrador de presión diferencial
- Registrador de presión
- Micrómetro
- Manómetro digital
- Manógrafo certificado
- Multímetro certificado
- Explosímetro digital

## **VI.10 Residuos y emisiones generadas durante la operación del ducto**

### **VI.10.1 Caracterización**

Se generarán residuos industriales, tales como residuos de pintura, estopas, grasas y aceites gastados por el mantenimiento preventivo y correctivo, y el tambo que contiene el mercaptano que de acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas **NOM-052-SEMARNAT-2005** y **NOM-053-SEMARNAT-1993** se consideren como peligrosos, estos se depositarán en tambos metálicos de 200 litros para ser enviados a reciclaje, a destrucción térmica o a confinamiento controlado, para lo cual serán canalizados a través de una empresa debidamente registrada y autorizada para el manejo y transporte de residuos peligrosos.

Las emisiones generadas por los desfuegos que puede tener la válvula de seguridad por una sobrepresión en la estación de regulación, así como los residuos que se generan de una limpieza de diablos. Las emisiones son gas en estado de vapor, que se libera a la atmósfera (por lo tanto serían fugitivas). Pueden ser incluso emisiones controladas, porque se llevan a cabo en el momento que uno desee realizar una corrida de diablos o purgar una línea.

### **VI.10.2 Factibilidad de reciclaje o tratamiento**

No aplica

---

Accesgas, S. A.P.I. de C.V.

Prolongación Paseo de la Reforma 1232, Planta Baja No. 1213, Lomas de Bezares, México, D.F., C.P. 11910

Tel: (55) 5259 5411 Cel: (55) 9143 1347 Email: [randaraca@accesgas.com.mx](mailto:randaraca@accesgas.com.mx)

---

## VII. Conclusiones y recomendaciones.

### VII.1. Presentar el Informe Técnico del Estudio de Riesgo.

Ver anexo No. 8.

### VIII.1 Hacer un resumen de la situación general que presenta la instalación en materia de riesgo ambiental, señalando las desviaciones encontradas y posibles áreas de afectación.

#### *Situación general*

El sitio del proyecto se encuentra ubicado en el **Municipio de Villagrán**, dentro del **Estado de Guanajuato**.

El **Municipio de Villagrán**, cabecera municipal, está situada a los 100°53' de longitud al Oeste del Meridiano de Greenwich y a los 20°30' de latitud Norte. Su altura sobre el nivel del mar es de 1,730 metros. Al Norte limita con el municipio de Santa Cruz de Juventino Rosas y Salamanca; al Oriente con el Municipio de Celaya y Cortazar; al Sur con el de Cortazar y Salamanca, al Oeste con el de Salamanca. (*Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México 2010*)

Según la *Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México* (2010), el Municipio de **Villagrán** pertenece a la Región VI Centro-Este: se encuentra comprendida por los municipios de Apaseo el Alto, Apaseo el Grande, Celaya, Comonfort, Cortazar, Juventino Rosas, Tarimoro y Villagrán.

El clima es semicálido subhúmedo, con lluvias en verano, de menor humedad. La temperatura promedio anual es de 18°C, siendo la máxima registrada de 37.5°C, y la mínima de 1.3°C. La precipitación pluvial es de 601 milímetros.

El principal riesgo ambiental asociado a la operación del Sistema de Transporte de Gas Natural normal del **gasoducto de acero de 4" Ø nom** que será instalado en el Municipio de Villagrán para suministro de gas natural a diversos municipios del Estado de Guanajuato, motivo del presente estudio, que se conectará al sistema de gas natural mediante un **gasoducto de acero al carbón de 4"** con **130 metros** de longitud, es generado por la remota probabilidad de una fuga de gas natural en presencia de una fuente de ignición, ya que dentro de la **Estación de Regulación y Medición** y la **Estación de Compresión** 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.

---

**PROYECTO: ESTACIÓN DE COMPRESIÓN GNC BAJÍO**

---

Además, la **válvula de bloqueo** que se localizará en el patín de medición del punto de interconexión, contará con un sistema de cierre automático por baja presión (**SLAM-SHUT**) que se activa 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 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 el cuadro de regulación principal como en la Estación de Compresión, así como a lo largo de la trayectoria del ducto**, 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.

*Areas 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 localiza **dentro de un terreno agrícola donde actualmente se siembra sorgo en un área considerada urbana**, 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 altura de una zona con amplios espacios y donde los asentamientos humanos están incrementándose notoriamente.

**Nubes Explosivas**

De acuerdo con los resultados, considerando 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 se encontraría dentro **del predio agrícola. El Sistema de Transpote de Gas Natural se ubicará dentro de la mancha urbana en un terreno agrícola del Municipio de Villagrán**, por lo que se considera que sí se afectan las pocas zonas habitacionales existentes fuera del perímetro de la **zona**, además, por la presencia de asentamientos humanos irregulares.

**PROYECTO: ESTACIÓN DE COMPRESIÓN GNC BAJÍO**

---

Se simuló la explosión de una nube de gas en algún punto del ducto de transporte escogido al azar donde existen asentamientos humanos regulares e irregulares, 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 75 centímetros de profundidad, cumplimiento con la profundidad mínima establecida en la norma oficial vigente al momento de su construcción.**

**VII.2.1 Con base en el punto anterior, señalar todas las recomendaciones derivadas del análisis de riesgo efectuado, incluidas aquellas determinadas en función de la identificación, evaluación e interacciones de riesgo y las medidas y equipos de seguridad y protección con que contará la instalación, para mitigar, eliminar o reducir los riesgos identificados.**

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:

**Etapas 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.

**PROYECTO: ESTACIÓN DE COMPRESIÓN GNC BAJÍO**

---

**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 aparte de supervisar el Derecho de Vía 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 las autoridades locales de atención a emergencias, así como la promoción de un Comité Local de Ayuda Mutua con las empresas vecinas.
- 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.

**PROYECTO: ESTACIÓN DE COMPRESIÓN GNC BAJÍO**

- 
- 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 de la Estación de Compresión.
  - 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.

**VII.3 Señalar las conclusiones del estudio de riesgo.**

El proyecto consiste en el diseño, construcción, puesta en marcha y operación de un Sistema de Transporte de Gas Natural, mediante la tecnología de Gas Natural Comprimido (GNC), para lo cual será necesario realizar una estación de compresión para suministro de este hidrocarburo a tracto camiones que transportarán este combustible por carretera hasta la entrega del mismo en las instalaciones de los usuarios finales en municipios diversos del Estado de Guanajuato.

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 algunas casas habitación, pequeños comercios 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 **130 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. En el caso de la modelación del cuadro de regulación principal, y debido a que éste se **instalará en un terreno agrícola, dentro de una zona urbana, con relieve plano y cerca de**

---

Accesgas, S.A.P.I. de C.V.

Prolongación Paseo de la Reforma 1232, Planta Baja No. 1213, Lomas de Bezares, México, D.F., C.P. 11910

Tel: (55) 5259 5411 Cel: (55) 9143 1347 Email: [randaraca@accesgas.com.mx](mailto:randaraca@accesgas.com.mx)

**PROYECTO: ESTACIÓN DE COMPRESIÓN GNC BAJÍO**

---

algunos servicios y asentamientos de la zona, y tomando en cuenta la presencia de una **válvula SLAM-SHUT** de cierre automático en caso de una caída de presión anormal en el sistema, los radios de afectación en este punto pueden afectar una superficie muy reducida en caso de que tuviera lugar un accidente bajo las condiciones extremas consideradas durante las simulaciones.

2. 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.
3. 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.
4. Con los datos proporcionados al modelo se obtuvo como resultado una explosión de pequeñas proporciones (ver **Anexo No. 6** Resultados de las modelaciones realizadas). 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**, después de esta distancia no se presentan daños a las personas y ocasionalmente se provocan solo roturas de vidrios.
5. Debido a que el sitio del proyecto se localiza dentro de un terreno agrícola en una zona urbana del Municipio de Villagrán, existen asentamientos humanos regulares e irregulares cercanos, por lo que los radios de afectación que pudieran sobrepasar tanto los límites de propiedad como a lo largo del trazo de la **tubería de acero** 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, puesta en marcha y operación de un Sistema de Transporte de Gas Natural, mediante la tecnología de Gas Natural Comprimido (GNC), a cargo de la empresa de **ACCESGAS** en el **Municipio de Villagrán**, es totalmente

**PROYECTO: ESTACIÓN DE COMPRESIÓN GNC BAJÍO**

---

confiable y de riesgo muy bajo, debido a que se utilizará tubería de **acero al carbón**, la longitud del ducto (**130 metros**), y la presión de operación es moderada, de **300 psi** en acero al carbón. Y sobre todo, debido a que la totalidad del trazo estará dentro de la misma **zona agrícola**.

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.

**OBSERVACIONES:**

Cabe mencionar que los cálculos aquí presentados suponen que la fuga se produce en un sitio abierto sin obstáculos para que ocurra la dispersión libre de **gas natural**. En realidad, **el gasoducto se encontrará enterrado aproximadamente a 75 cms de profundidad**, estará alojado **en un terreno agrícola, dentro de una zona urbana** y de fácil dispersión al aire libre, por lo que se considera:

1. La ocurrencia de una posible fuga de gas natural en el punto de interconexión o en algún punto del gasoducto, quedará circunscrita en su mayor parte dentro del área que ocupa la zona **agrícola**, perteneciente al **Municipio Villagrán** el cual se encuentra en un proceso de muy rápido crecimiento urbano.
2. La posible dispersión de una nube de gas natural proveniente de una fuga, podrá realizarse hacia el sector sur del trazo del gasoducto, según la época del año y la dirección de los vientos dominantes (los vientos dominantes durante la mayor parte del año provienen del *Oeste y Noroeste*). En esta dirección, dependiendo del punto de fuga, se encuentran terrenos agrícolas y casas habitación. Sin embargo, es importante que **ACCESGAS** elabore en forma conjunta con el usuario del sistema de gas natural un Programa de Atención a Contingencias para hacer frente a situaciones de emergencia.
3. En el caso de una fuga, se estima que el tiempo requerido para el corte de flujo de salida de una posible fuga que tuviera lugar en el gasoducto es de **3 a 6 minutos**, por lo que solamente una cantidad comparativamente mínima podría escapar. Este tiempo se considera suficiente para accesar a la caseta de regulación instalada en el punto de interconexión con el ducto de **PEMEX**, y accionar las válvulas correspondientes para bloquear el flujo de gas natural y en su caso canalizarlo por el regulador alterno. Sin embargo, para fines más realistas de modelación, se consideró un tiempo promedio de **1 minuto, tomando en cuenta la actuación automática de la válvula Slam-Shut**. El tiempo promedio estimado para corregir y reparar totalmente una fuga se considera que es de **2 horas**.
4. En caso de una explosión, se considera que el hecho de ser una instalación subterránea, ayudaría a absorber y atenuar gran parte de las ondas expansivas que se produjeran.
5. Los municipios y el Gobierno del Estado deben implementar las estrategias necesarias para restringir cualquier tipo de asentamientos irregulares en las cercanías de la trayectoria del gasoducto y del **cuadro de regulación en el punto de interconexión** con el ducto de **PEMEX** como medida de seguridad.
6. Se debe tener en claro el hecho de que los gasoductos no están peleados con los asentamientos humanos, ya que existe la creencia generalizada de que no deben pasar por zonas urbanas por el riesgo potencial de accidentes, lo cual es incorrecto. La mayoría de las

**PROYECTO: ESTACIÓN DE COMPRESIÓN GNC BAJÍO**

---

grandes ciudades industrializadas del mundo cuentan con redes de distribución de gas natural, el cual es mucho más seguro y confiable que el gas L.P.

7. En caso de un incendio en alguno de los componentes del gasoducto o de la Estación de Compresión, y de acuerdo con lo estipulado en diversas hojas de seguridad, se recomienda:
  - **Evacuar** a todo el personal del área de peligro.
  - **Enfriar inmediatamente el ducto** y sus accesorios con agua atomizada a la máxima distancia posible, teniendo cuidado de no extinguir las flamas, ya que si las flamas se extinguen accidentalmente, puede presentarse una reignición explosiva.
  - Alejar las fuentes de ignición, si no hay riesgo.
  - Aproximarse al área de fuego con extrema precaución y usando un equipo respiratorio de cuerpo entero.
  - Cancelar el flujo de gas si no hay riesgos, mientras se continúa enfriando con agua por aspersión.
  - Permitir que el fuego se extinga solo.
  - Las brigadas locales contra incendio deben cumplir con la norma OSHA 29 CFR 1910 156.
  
8. Se recomienda a futuro realizar un análisis que considere la interacción entre las empresas de la zona y la operación del gasoducto, una vez que se tenga acceso a información confidencial de cada empresa contratante.