

## **7. ANALISIS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS**

Este Capítulo proporciona información relacionada con los métodos de diseño para controlar los riesgos asociados específicamente a los sistemas y luego se presentarán los resultados de un análisis de riesgo operacional específicamente hecho para el sistema y las medidas para reducir los riesgos y prevenir los accidentes. Se toma en cuenta la condición de la ruta seleccionada incluyendo la presencia del gasoducto existente.

Asimismo, cumple los requisitos de Artículo 26 del Reglamento de Prevención y Control Ambiental, Ley del Medio Ambiente No. 1333, y la nota MDSP-VMARNDF-DGICSA-UEIA-FA N° 1552/00 de 12 de Diciembre, 2000.

### **7.1 INTRODUCCION**

#### **7.1.1 Identificación de Riesgos de la Tubería**

Existen riesgos bien identificados asociados con la construcción y operación de sistemas de transporte de gas natural. Basados en este reconocimiento, los criterios relacionados con el riesgo elaboran procedimientos específicos para la construcción, operación y el abandono de los sistemas de tuberías de gas.

Los riesgos asociados con el gas natural en el sistema de transporte surgen en primer lugar durante el proceso de puesta en servicio en que el gas se usa para purgar aire que permanece dentro del sistema antes que éste entre en operación. La mezcla de gas natural y aire se descarga a la atmósfera en cantidades muy pequeñas y bajo controles muy estrictos del sistema. Un minucioso control por monitoreo impide que la descarga llegue a formar una mezcla potencialmente explosiva.

Peligros similares ocurren durante el retiro del servicio y el abandono, los que se reducen al mínimo en la misma forma.

Los peligros asociados con el funcionamiento de las tuberías durante su operación han sido bien investigados y definidos (por ejemplo Amad, 1988; Elber y Jones, 1992; Mayer et al. 1987; Kent Muhlbauer, 1992, entre otros). Este estudio tratará en primer lugar los riesgos potenciales asociados con la operación del sistema y luego las medidas de diseño tomadas, para reducir estos peligros a un nivel internacionalmente aceptable.

Los siguientes riesgos potenciales del transporte de gas son comúnmente reconocidos en orden decreciente de importancia:

*Daño Mecánico* - Es de lejos la razón más común de falla en el sistema, ocasionada por contacto durante la realización de actividades de excavación en la vecindad del sistema de tuberías.

*Corrosión Externa* - Esto ocurre generalmente en áreas en que la capa protectora exterior se ha perdido o ha sido dañada. Otras causas potenciales de corrosión externa son la pérdida de protección catódica, y la ubicación de las tuberías en un ambiente externo altamente corrosivo. La corrosión externa generalmente produce defectos u orificios localizados que reducen la integridad estructural de la tubería, y en el peor de los casos puede inducir a una fuga, pero no a una explosión severa.

*Pérdida de Apoyo del Terreno* - El terreno en el que se apoya la tubería del gas puede estar sometido a movimiento debido a eventos sísmicos, hundimientos, desplomes de terreno, inundaciones y canalización natural. Un sistema sin uniones mecánicas como el diseñado está en mejores condiciones de soportar estos movimientos.

*Fatiga* - La tubería puede estar sometida a torsiones o tensiones durante la construcción, o tener defectos de material o de construcción. Con el tiempo, puede

aparecer una fuga de gas pero no una explosión severa. Para evitar que esto ocurra, todo el material será sometido a un control de calidad estricto durante la fabricación.

Asimismo el proceso de construcción usará también procedimientos de inspección y control de calidad de validez internacional. Además, una prueba de resistencia previa a la puesta en servicio, realizada a presiones mayores que las presiones de operación, servirá para detectar defectos en los materiales y en la construcción, los que eventualmente pueden provocar fallas durante la vida operativa del sistema.

*Sabotaje o Intervención de Terceros* - El daño proveniente de actividades de sabotaje o maliciosas es poco común en la mayoría de las áreas del mundo. Como la tubería es subterránea, el sabotaje es relativamente difícil. Las instalaciones superficiales estarán cercadas y protegidas. El sistema regulador de presión será controlado a distancia reduciendo de esa manera pérdidas del sistema.

### **7.1.2 Niveles de Riesgo - Estándares Internacionales.**

Las autoridades fiscalizadoras han definido criterios para los niveles aceptables de riesgo tanto en los Países Bajos como en el Reino Unido.

Los Países Bajos han determinado el nivel aceptable de riesgo para un individuo si la fatalidad se da en  $10^{-6}$  (una oportunidad en un millón) por año (Plan de Política Ambiental Nacional Holandés, de 1990; modificado por estudios de riesgo posteriores).

El riesgo insignificante está definido en un nivel de  $10^{-8}$  por año. Por ende, las exigencias en relación a la tubería y su proximidad a edificaciones están definidas de modo de asegurar que los niveles de riesgo fluctúen entre  $10^{-6}$  y  $10^{-8}$  anual considerando el tipo de instalaciones y el grado de sensibilidad del área.

En el Reino Unido los niveles de riesgo han sido estudiados por un Grupo de Estudios de la Sociedad Real (The Royal Society, 1983) y sus recomendaciones fueron adoptadas en el país como pautas de planificación del uso de la tierra adyacente a sectores industriales de alto riesgo (Comisión de Seguridad y Salud del Reino Unido, 1989). Se adoptaron exigencias similares para las instalaciones cercanas a los sistemas de tuberías (Jones y Carter, 1989).

En cuanto a las tuberías, se identificaron tres niveles de riesgo:

- $10^{-5}$  posibilidades al año de recibir una dosis peligrosa (se define abajo) en el caso de pequeños proyectos.
- $10^{-6}$  posibilidades al año de recibir una dosis peligrosa en el caso de proyectos medianos y grandes.
- $0,3 \times 10^{-6}$  posibilidades al año, un nivel en el que el riesgo se considera sin importancia y que no se debería exceder donde existan instalaciones sensibles como colegios, hospitales, asilos de ancianos, etc.

Mientras los niveles holandeses se refieren al riesgo de muerte, los niveles del Reino Unido se refieren al riesgo de dosis peligrosa. Una dosis peligrosa producirá una seria desgracia a todas las personas comprometidas, requiere de tratamiento médico para una parte considerable de los afectados, algunas personas requerirán un tratamiento prolongado, y las personas más sensibles pueden morir.

Una vez que ha sido determinado el nivel de riesgo aceptable, se debe usar una metodología para determinar el nivel de riesgo asociado a una actividad en particular. Afortunadamente, Gran Bretaña y Estados Unidos han realizado una amplia investigación sobre la definición de los riesgos del transporte de gas y mediante el uso de una extensa base de datos histórica, están en condiciones de proporcionar una serie de normas que han sido aceptadas internacionalmente para el diseño de sistemas de transporte.

### 7.1.3 Criterios de Diseño Relacionados con el Riesgo y Medidas de Reducción del Riesgo.

Los principios de diseño usados para el sistema están de acuerdo a la norma internacionalmente reconocida ASME B31.8 para los sistemas de tuberías de transporte de gas. Cumpliendo estas normas, el nivel de riesgo potencial estará en los niveles siguientes o bajo ellos:

- $10^{-6}$  de posibilidades al año para tuberías que atraviesan áreas clasificadas como no sensibles.
- $0,3 \times 10^{-6}$  de posibilidades al año en áreas que tienen instalaciones sensibles tales como hospitales, colegios, etc.

A modo de comparación, a continuación se describen los niveles de riesgo de muerte por año relacionados con diversos eventos en Gran Bretaña:

Golpeados por un rayo	1 en $10^7$
Accidentes en ferrocarriles	1 en $5 \times 10^5$
Homicidios	1 en $10^5$
Accidentes en el trabajo	1 en 43.500
Accidentes en la casa	1 en 26.000
Accidentes en la vía pública	1 en 8.000
Causas naturales a los 40 años	1 en 850
Fumadores de 10 cigarrillos al día	1 en 200

Claramente de estas cifras se desprende que el riesgo anual de muerte proveniente de una tubería bien diseñada es del mismo orden del evento muy poco probable de ser golpeado y resultar muerto a causa de un rayo.

Los criterios de diseño se pueden obtener de la siguiente manera:

*Mayor espesor de pared del gasoducto* - El sistema de tuberías de acero usará un espesor de pared capaz de resistir varias veces el nivel de presión de diseño.

*Selección del grado del material de tubería para adecuarse a la ruta* - El sistema de tubería de acero usará acero al carbono API (American Petroleum Institute) 5L Grado X-70.

*Aumento de la profundidad de ubicación de la tubería* - La profundidad de ubicación de la tubería será como mínimo de 1,0 m para el sistema.

Para lograr el diseño del sistema basado en factores de riesgo, se usa una serie de tablas que proporcionan varias características según el grado de tubería, espesor de pared, y factor de diseño (la fracción de la presión de diseño basado en el grado de tubería y espesor de pared dividido por la presión real en la línea). En áreas sensibles, el espesor de pared aumenta y el factor de diseño se reduce para lograr un nivel menor de riesgo comparado con áreas no sensibles. Se calcula que el espesor va variar entre 0,452 pulgadas y 0,813 pulgadas como el sitio aumente en sensibilidad.

Además, Petrobras S.A. realizará activamente los siguientes programas para asegurarse de que los niveles de riesgo se mantengan o sean reducidos.

*Inspección Regular de la Superficie* - Para asegurarse de que no se están llevando a cabo construcciones u otras actividades en el área del gasoducto que pudieran provocarle daños, y que no haya pérdida del terreno de apoyo de la tubería.

*Patrullaje Regular de Fugas* - Para asegurarse de que cualquier fuga que pueda producirse en el sistema sea detectada y reparada antes de que la situación se torne peligrosa.

*Sistema de Información Geográfica Computarizado* - Permitirá proporcionar rápidamente a las autoridades y a otras personas que puedan estar trabajando dentro del área del gasoducto, la información y los mapas detallados relacionados con el emplazamiento de las tuberías.

*Ruta Bien Marcada* - Para asegurarse la ubicación del gasoducto y además que los números de contactos telefónicos estén claramente indicados.

*Monitoreo Continuo del Sistema de Protección Catódica* - Usando un programa de terreno, las medidas de protección catódica, serán monitoreadas para observar las desviaciones de límites pre-establecidos. Esto permitirá que el sistema reaccione y rectifique cualquier operación defectuosa antes de que surja una situación de peligro.

Otras medidas se presentarán en la sección que contiene el análisis del riesgo.

## **7.2 EVALUACION DE RIESGO OPERACIONAL**

Esta sección presenta los resultados del análisis de los riesgos operacionales del Proyecto, efectuado por un equipo multidisciplinario. Este análisis tiene por objeto cuantificar los riesgos asociados con los posibles eventos que si se produjeran durante la vida del proyecto, pondrían en peligro a las personas y al medio ambiente.

Se basa en la metodología utilizada en los métodos HAZOP y HAZAN, los cuales incluyen las siguientes etapas:

- Una amplia selección de todos los posibles eventos que pudieran constituir una situación de riesgo, después de la cual se seleccionan generalmente el 30% hasta el 50% de los eventos que representan una probabilidad más alta para su revisión intensiva.

- La cuantificación de la probabilidad de que se produzca cada evento independientemente.
- La cuantificación de la vulnerabilidad del ducto e instalaciones respecto del evento.
- El cálculo del riesgo basado en la vulnerabilidad y probabilidad de su ocurrencia.
- La estimación de la consecuencia de cada evento riesgoso después de producirse.
- La clasificación de riesgos en categorías de alto, moderado y bajo, según el efecto combinado de consecuencia y probabilidad de la situación riesgosa.
- La definición de medidas mitigantes o modificaciones de diseño para reducir la posibilidad de ocurrencia o consecuencia del evento. Estas medidas se tratan en otra sección denominada Medidas Mitigantes.

### 7.2.1 Definición de Riesgo

El riesgo es una función de la Probabilidad de Ocurrencia de una Situación de Riesgo y la Consecuencia del Evento.

Se define cada una a continuación.

#### Probabilidad de Ocurrencia de una Situación de Riesgo

Se define la Probabilidad de Ocurrencia de la Situación de Riesgo (P) como

$$P = H \times V.$$

donde:

- P = Probabilidad de Ocurrencia de la Situación de Riesgo
- H = Probabilidad de Ocurrencia del Evento Independiente
- V = Factor de Vulnerabilidad

Además, H y V se definen como sigue:

- Probabilidad de Ocurrencia del Evento Independiente (H) o HAZARD; se define como la probabilidad de ocurrencia de un evento sin considerar concatenación de eventos en los efectos que pueda acarrear tal.
- Para determinar (H) se utilizan los datos estadísticos, el conocimiento de los sistemas de gas, la zona propuesta para la operación, la información sobre la ocurrencia de fenómenos similares y las estimaciones desarrolladas por especialistas.
- Factor de Vulnerabilidad (V) es la capacidad de respuesta de la estructura involucrada; en otras palabras, mide cuán vulnerable es la estructura ante el evento. El Factor de Vulnerabilidad no comprende la magnitud ni la consecuencia del efecto, ni tampoco sus consecuencias.

Se estimó el Factor de Vulnerabilidad usando una escala de 1 a 5, en que 1 representa la vulnerabilidad menor y 5 la vulnerabilidad máxima del sistema.

Puesto que la Probabilidad de Ocurrencia (H) se calcula en una escala de 1 a 100, y el Factor de Vulnerabilidad (F) en una de 1 a 5, (P) se calcula como el equivalente a (H), multiplicado por  $(0,68e^F)$ . La (P) resultante está, entonces, en una escala de 1 a 100. Esta metodología ha probado ser exitosa en los estudios HAZOP anteriores para entregar un medio excelente para separar el riesgo en cinco niveles. Las cinco categorías de Probabilidad de Ocurrencia de la Situación de Riesgo (P) se indican en la Tabla 7.1.

**TABLA 7.1 / LAS CATEGORÍAS QUE DEFINEN LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE UNA SITUACIÓN DE RIESGO (P)**

<b>Categoría de Probabilidad</b>	<b>Definición Cualitativa</b>	<b>Definición Cuantitativa</b>
A	Existe una alta probabilidad de ocurrencia del evento durante la vida útil del proyecto.	> 10%, importante
B	El evento podría producirse esporádicamente. Podría haber eventos aislados.	5%-10%, significativo
C	Existe una razonable probabilidad de que se produzca el evento en algún punto.	1%-5%, moderado
D	Es poco probable que se produzca el evento en algún punto.	0,1-1,0%, bajo
E	Es casi imposible que se produzca el evento.	< 0,1%, insignificante

### **Consecuencia del Evento**

La Consecuencia del Evento representa la seriedad del efecto provocado por el evento. En este análisis, se desarrollaron cinco categorías de Consecuencia del Evento. La Tabla 7.2 presenta la definición de cada categoría con respecto a sus posibles consecuencias en la salud y seguridad humana, el medio ambiente, preocupación pública y posibles problemas legales.

**TABLA 7. 2 / CATEGORÍAS DE CONSECUENCIA  
DEL EVENTO UTILIZADAS EN ESTA EVALUACIÓN**

Categoría de Consecuencia	CONSIDERACIONES			
	Impacto en la Salud y Seguridad	Impacto en el Medio Ambiente	Nivel de Trascendencia y Preocupación del Público.	Impacto Legal
I	Muerte / Impacto serio en el público.	<b>SEVERO.</b> Destrucción irreparable. Impacto de larga duración. Requiere de respuesta en gran escala.	Traspasaría las fronteras regionales/nacionales.	Paro operativo. Revisión de responsabilidades. Restauración importante. Sanciones
II	Lesiones graves a empleados. Impacto limitado en el público.	<b>SERIO.</b> De duración moderada. Destrucción parcial de comunidades y deterioro severo del medio ambiente. Requiere de recursos importantes para mitigación.	Se limita a la región.	Citación/Multa. Juicio por indemnización. Restauración menor.
III	Asistencia médica para el personal afectado. Sin impacto en el público.	<b>MODERADO.</b> De corta duración. Requiere de respuesta limitada y breve.	Traspasaría el límite de la compañía. Afecta a la comunidad local.	Advertencia.
IV	Impacto menor en el personal.	<b>MENOR.</b> Requiere sólo de una respuesta menor o ninguna.	Una trascendencia mínima o ninguna.	Requiere explicación, pero no tiene consecuencias legales.

## Nivel de Riesgo

Como se indica en la Figura 7.3, se utilizan cuatro clases de Consecuencia del Evento y cinco clases de Probabilidad de Ocurrencia de la Situación de Riesgo (P) para desarrollar los siguientes tres niveles de riesgo:

**FIGURA 7.3 / MATRIZ DE RIESGOS QUE INDICA LOS NIVELES DE RIESGO ALTO (H), MODERADO (M) Y BAJO (L) EN FUNCIÓN DE LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE UNA SITUACIÓN DE RIESGO (P) Y LA CONSECUENCIA DEL EVENTO.**

### Probabilidad de Ocurrencia de una Situación de Riesgo (P)

Consecuencia	CATEGORÍA DE PROBABILIDAD				
	A	B	C	D	E
I	H	H	H	M	M
II	H	H	M	M	M
III	H	M	L	L	L
IV	M	L	L	L	L

- Alto (H) Eventos con una alta probabilidad de ocurrencia y alta consecuencia, y para los cuales se adoptarán medidas mitigantes para el diseño y construcción del sistema.
- Moderado (M) Eventos en el rango medio de probabilidad de ocurrencia y consecuencia, y para los cuales se adoptarán medidas mitigantes para disminuir el perfil del riesgo.
- Bajo (L) Eventos con una baja hasta moderada probabilidad de ocurrencia y consecuencia, para los cuales no son necesarias acciones en este momento.

## 7.2.2 Descripción de posibles eventos

Se consideran los eventos como obras-eventos cuando se considera que el mismo evento tendrá un impacto en las obras del Proyecto (el ducto e instalaciones asociadas).

Este análisis de riesgo desarrolló un total de 12 posibles eventos, en base a 6 posibles eventos extra operacionales y 6 posibles eventos operacionales. Un evento específico (ej.: incendio cerca del sistema de gas) toma en cuenta el gasoducto existente en el derecho de vía. Se indican en la Tabla 7.4, con asterisco, los eventos seleccionados.

**TABLA 7.4 / SELECCIÓN DE OBRA-EVENTO. SE INDICAN CON ASTERISCO (\*) LOS QUE SE CONSIDERAN PRESENTARÁN RIESGOS POSIBLEMENTE MODERADOS HASTA ALTOS, SUJETOS A ESTUDIO ADICIONAL EN ESTE ANÁLISIS.**

<b>EVENTOS SELECCIONADOS</b>	
<b><i>Eventos Extra-operacionales</i></b>	
Lluvia Torrencial	*
Sismo de Máxima Intensidad	*
Aluviones	*
Fallas Geomecánicas	*
Crecida Centenaria	*
Incendio cerca del sistema de gas	*
<b><i>Eventos Operacionales</i></b>	
Defectos de Diseño y Construcción/Fallas de Materiales	*
Corrosión	*
Falla operacional producto de error humano	*
Daños por terceros	*
Deficiencias causadas por falta de mantenimiento/inspección visual	*
Falla prolongada de suministro de potencia/comunicaciones	*

Se describen a continuación los eventos que se consideraron más probables a provocar una situación de riesgo que involucrara estas redes:

➤ **Eventos Extra Operacionales.**

Un evento meteorológico, hidrológico, sísmico o geotécnico que se produce en forma independiente de la existencia de las operaciones en el área, como serían:

- Una lluvia torrencial local.
- Un sismo de máxima intensidad.
- Aluviones.
- Fallas geomecánicas.
- Crecida centenaria.
- Incendio cerca del gasoducto.

➤ **Eventos Operacionales.**

Un evento que se produce como consecuencia directa de la operación del sistema, como los siguientes:

- Deficiencias de diseño y construcción/fallas de materiales.
- Corrosión.
- Falla operativa producto de error humano.
- Daños por terceros.
- Deficiencias causadas por falta de mantenimiento e inspección visual.
- Falla prolongada de comunicaciones y del suministro de potencia.

Se describe adicionalmente a cada uno de estos posibles eventos:

## Eventos Extra Operacionales

*Lluvia Torrencial Local*- Este evento podría producirse en el lugar del proyecto con una frecuencia de una vez cada cincuenta años, siendo la magnitud de 25-30 mm/h de agua acumulada.

*Sismo de máxima intensidad*- Un terremoto local, siendo su epicentro dentro de un radio de 500 km y su magnitud superior a 6,5 en la Escala de Richter, el cual produce aceleraciones superficiales de más de 0,2 g. (g: aceleración de la gravedad:9,8 m/s<sup>2</sup>).

*Aluviones*- Esta situación incluye el deslizamiento y flujo de sedimentos finos por quebradas o taludes como consecuencia de lluvias fuertes o deshielos. Este evento puede provocar aumentos importantes y repentinos en el flujo de ríos y quebradas. Los aluviones también pueden causar bloqueos de los cursos de agua en algunos sectores. Estos bloqueos podrán ser inestables, lo que puede producir deslizamientos adicionales de lodo y piedras en la medida que se rompan.

*Fallas Geomecánicas*- Este tipo de evento comprende las fallas geomecánicas que pudieran afectar las fundaciones de obras como túneles, edificios y represas, o pudieran crear taludes de cerros inestables.

*Crecida Centenaria*- Este evento podrá producirse en la temporada de lluvia a intervalos de cien años, y tiene una magnitud de flujo según el área de la cuenca del río.

*Incendio Cerca del Gasoducto* - Este evento considera la ocurrencia de un incendio grave y difícil de controlar (en cuanto a magnitud y duración) que pudiera producirse en una instalación cercana al gasoducto y pudiera provocar daños debido a la alta temperatura del mismo. La fuente del incendio será el gasoducto existente porque no hay instalaciones industriales en la ruta seleccionada, o un accidente dentro de la estación de compresión.

## Eventos Operacionales

Se analizaron los siguientes eventos relacionados con la operación del sistema:

### *Deficiencias del Proyecto (fallas en el diseño, en la construcción o en los materiales:-*

Este tipo de evento se produce debido a posibles deficiencias en cualquier parte del sistema, medidas según los niveles normales de calidad que se consideran aceptables para ese componente particular del sistema. En general, los errores de diseño o construcción y fallas de materiales no se percatan hasta que el flujo de gas llegue más allá de las condiciones de diseño mínimas o máximas.

*Corrosión-* Este evento refleja la filtración del ducto de acero que puede ser producto de la corrosión electro-química.

*Defectos Operacionales causados por Error Humano-* Estos eventos son producto de error operacional y humano, por ejemplo, por la incorrecta operación de las válvulas del sistema.

*Daños por terceros-* Este tipo de evento contempla los riesgos que involucran el ducto como consecuencia de daños intencionales y accidentales provocados por terceros, como actos terroristas y sabotaje o excavaciones efectuadas por particulares o compañías de servicios.

*Deficiencias causadas por Falta de Mantenimiento-* Este evento considera las fallas del sistema que pudieran evitarse mediante la detección anticipada de acuerdo al mantenimiento regular o inspección visual.

*Falla Prolongada de Comunicaciones o del Suministro de Potencia-* Este evento contempla una falla prolongada de comunicaciones y potencia que se origina en el suministro normal de potencia o en las fuentes alternativas o de emergencia.

### 7.2.3 Resultados de la evaluación

Para cada uno de los eventos marcados con asterisco en la Tabla 7.3, se define la Probabilidad de Ocurrencia del Evento Independiente (H) en una escala de 0 a 100 en la Tabla 7.5.

**TABLA 7.5 / LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DEL EVENTO INDEPENDIENTE (H)  
EN BASE A LA INFORMACIÓN DISPONIBLE Y LA EXPERIENCIA. ESCALA = 1 HASTA 100.**

<b>EVENTO</b>	<b>PROBABILIDAD</b>
<b><i>Eventos Extra-operacionales</i></b>	
Lluvia torrencial	45,0
Sismo de Máxima Intensidad	10,0
Aluviones	5,0
Fallas Geomecánicas	4,7
Crecida Centenaria	39,0
Incendio cerca del sistema de gas	10,0
<b><i>Eventos Operacionales</i></b>	
Defectos de Diseño y Construcción/Fallas de Materiales	10,0
Corrosión	10,6
Falla operacional producto de error humano	100,0
Daños por terceros	34,0
Deficiencias causadas por falta de mantenimiento/inspección visual	100,0
Falla prolongada de suministro de potencia/comunicaciones	30,0

Se indica en la Tabla 7.6, en una escala de 1 a 5, el Factor de Vulnerabilidad (F) de cada ocurrencia en base a la experiencia de la ingeniería.

**TABLA 7.6 / FACTOR DE VULNERABILIDAD (V) EN UNA ESCALA DE 1 HASTA 5.**

<b>EVENTO</b>	<b>FACTOR DE VULNERABILIDAD</b>
<b><i>Eventos Extra-operacionales</i></b>	
Lluvia Torrencial	1,8
Sismo de Máxima Intensidad	2,4
Aluviones	1,0
Fallas Geomecánicas	1,5
Crecida Centenaria	1,8
Incendio cerca del sistema de gas	1,0
<b><i>Eventos Operacionales</i></b>	
Defectos de Diseño y Construcción/ Fallas de Materiales	2,4
Corrosión	5,0
Falla operacional producto de error humano	4,0
Daños por terceros	5,0
Deficiencias causadas por falta de mantenimiento/inspección visual	4,0
Falla prolongada de suministro de potencia/comunicaciones	1,0

En la Tabla 7.7 se presenta la Probabilidad de Ocurrencia de una Situación de Riesgo (P), calculada porcentualmente.

**TABLA 7.7 / LA PROBABILIDAD CUANTITATIVA DE OCURRENCIA DE UNA SITUACIÓN DE RIESGO (P) EN TÉRMINOS PORCENTUALES.**

Cabe notar que este valor está basado en resultados de la Tabla 7.4, multiplicados por 0,68 veces el exponencial de los valores proporcionados en la Tabla 7.5.

<b>EVENTO</b>	<b>PROBABILIDAD CUANTITATIVA (%)</b>
<b><i>Eventos Extra-operacionales</i></b>	
Lluvia Torrencial	1,8
Sismo de Máxima Intensidad	0,7
Aluviones	0,1
Fallas Geomecánicas	0,1
Crecida Centenaria	1,6
Incendio cerca del sistema de gas	0,2
<b><i>Eventos Operacionales</i></b>	
Defectos de Diseño y Construcción/Fallas de Materiales	0,8
Corrosión	10,6
Falla operacional producto de error humano	37,0
Daños por terceros	34,0
Deficiencias causadas por falta de mantenimiento/inspección visual	37,0
Falla prolongada de suministro de potencia/comunicaciones	0,5

La Tabla 7.8 entrega estos mismos resultados pero en términos cualitativos.

**TABLA 7.8 / LA PROBABILIDAD CUALITATIVA DE OCURRENCIA  
DE UNA SITUACIÓN DE RIESGO (P).**

Refiérase a la Tabla 7.7 para los valores cuantitativos, y 7.1 para la definición de categorías.  
(A=alta, D=casi imposible)

EVENTO	PROBABILIDAD CUALITATIVA
<b><i>Eventos Extra-operacionales</i></b>	
Lluvia Torrencial	C
Sismo de Máxima Intensidad	D
Aluviones	D
Fallas Geomecánicas	D
Crecida Centenaria	C
Incendio cerca del sistema de gas	D
<b><i>Eventos Operacionales</i></b>	
Defectos de Diseño y Construcción/Fallas de Materiales	D
Corrosión	A
Falla operacional producto de error humano	A
Daños por terceros	A
Deficiencias causadas por falta de mantenimiento/inspección visual	A
Falla prolongada de suministro de potencia/comunicaciones	D

Se categoriza la Consecuencia del Evento, estimada para cada situación de riesgo, en la Tabla 7.9.

**TABLA 7.9 / LA CONSECUENCIA DEL EVENTO PARA CADA PAR DE EVENTOS.**

Refiérase a la Tabla 7.2 para la definición de cada nivel. (I=severo, IV=menor)

<b>EVENTO</b>	<b>CONSECUENCIA</b>
<b><i>Eventos Extra-operacionales</i></b>	
Lluvia Torrencial	III
Sismo de Máxima Intensidad	II
Aluviones	III
Fallas Geomecánicas	IV
Crecida Centenaria	III
Incendio cerca del sistema de gas	III
<b><i>Eventos Operacionales</i></b>	
Defectos de Diseño y Construcción/Fallas de Materiales	IV
Corrosión	IV
Falla operacional producto de error humano	IV
Daños por terceros	II
Deficiencias causadas por falta de mantenimiento/inspección visual	II
Falla prolongada de suministro de potencia/comunicaciones	IV

La Tabla 7.10 presenta los resultados del análisis en términos de consecuencia, probabilidad y riesgo.

**TABLA 7.10 / LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS Y EL RIESGO DE CADA EVENTO.**

EVENTOS	CONSECUENCIA	PROBABILIDAD	RIESGO
<i><b>Eventos Extra-operacionales</b></i>			
Lluvia Torrencial	III	C	B
Sismo de Máxima Intensidad	II	D	M
Aluviones	III	D	B
Fallas Geomecánicas	IV	D	B
Crecida Centenaria	III	C	B
Incendio cerca del sistema de gas	III	D	B
<i><b>Eventos Operacionales</b></i>			
Defectos de Diseño y Construcción/Fallas de Materiales	IV	D	B
Corrosión	IV	A	M
Falla operacional producto de error humano	IV	A	M
Daños por terceros	II	A	A
Deficiencias causadas por falta de mantenimiento/inspección visual	II	A	A
Falla prolongada de suministro de potencia/comunicaciones	IV	D	B

Usando los resultados según la Tablas 7.10, la distribución resultante es la siguiente:

- Eventos de Alto Riesgo = 2
- Eventos de Riesgo Moderado = 4
- Eventos de Bajo Riesgo = 7

Se resumen estos eventos como sigue:

### **Eventos de Alto Riesgo:**

- ✓ Daños por terceros.
- ✓ Deficiencias causadas por falta de mantenimiento.

### **Eventos de Riesgo Moderado:**

- ✓ Sismo de máxima intensidad.
- ✓ Corrosión.
- ✓ Falla operacional producto de error humano.
- ✓ Crecida centenaria.

Definidos los eventos de riesgo alto y moderado, se desarrolló una serie de medidas mitigantes para su incorporación en el diseño, construcción y operación del sistema. Estas se encuentran en la próxima sección.

## **7.3 PLAN DE MITIGACION DE RIESGOS**

Como se estudió anteriormente que abordó en el análisis de Riesgo Operacional, se considera que los siguientes posibles eventos son de riesgo moderado a alto para el público y el medio ambiente:

- ✓ Daños por terceros.
- ✓ Deficiencias causados por falta de mantenimiento.
- ✓ Corrosión.
- ✓ Crecida centenaria.
- ✓ Sismos de máxima intensidad.
- ✓ Falla operacional producto de error humano.

Los objetivos de las siguientes medidas mitigantes son de reducir o eliminar el potencial de ocurrencia del evento de riesgo o reducir o eliminar su consecuencia.

La Tabla 7.11 entrega un resumen de los eventos (situación) que podrían provocar riesgos moderados y altos durante la operación del gasoducto y su respectiva medida de mitigación.

A continuación se detallan las medidas de mitigación asociadas a los eventos de la Tabla 7.11.

**TABLA 7.11 / SINOPSIS DE LOS EFECTOS Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS.  
PARA EVENTOS CONSIDERADOS DE RIESGO MODERADO A ALTO.**

<b>Evento – Situación</b>	<b>Efectos</b>	<b>Medida</b>
Daños por terceros	Fuga de gas, posible incendio con daño severo para los empleados y el público.	M1
Deficiencias causadas por falta de mantenimiento	Fuga de gas, posible incendio con daño severo para los empleados y el público.	M2
Corrosión	Fuga de gas, posible incendio con daño severo para los empleados y el público.	M3
Crecida centenaria	Rotura en la línea y escape de gas, posible incendio con daño severo para los empleados y el público.	M4
Sismos de alta intensidad	Múltiples fugas y posibles incendios con muerte y serio impacto para el público, impacto de larga duración.	M5
Falla operacional causada por error humano.	Fuga de gas, posible incendio con daño severo para los empleados y el público.	M6

### 7.3.1 Daños por terceros (Medida M1)

Este riesgo considera tanto los daños intencionales como los accidentales. Los daños accidentales son provocados principalmente por actividades de excavación en el área del ducto. En general, los daños intencionales al sistema, como podrían ser el sabotaje o el terrorismo, se dificultan debido a que el ducto está enterrado y las instalaciones superficiales están cercadas.

Se implantará el siguiente grupo de medidas mitigantes para prevenir este tipo de daños.

- Durante la construcción, se marcarán todos los lugares de obras con pizarras informativas que indican el número telefónico a contactar en caso de otras excavaciones u obras en el área.
- Durante la operación, se indicará en lugares previamente determinados, la ubicación del ducto mediante carteles informativos que contienen el número telefónico a notificar en caso de emergencia. También serán notificados directamente los organismos del gobierno y servicios que usan canalización del número telefónico de Petrobras S.A. para información y emergencias. Además, se colocará periódicamente en un diario local el número telefónico a notificar, para información del público.
- El ducto usará un espesor de pared de ducto capaz de resistir la mayoría de las perforaciones por herramientas manuales y excavadoras.
- Se mantendrá actualizada la información sobre el trazado del ducto tal como se construya, la cual estará disponible dentro de un Sistema de Información Geográfica (SIG) que puede proporcionar mapas a pedido de las autoridades del gobierno y de terceros que realicen obras cerca del ducto.

- Se implantarán procedimientos de advertencia anticipada entre Petrobras S.A. y diferentes compañías de servicios que usan canalización y el gobierno local para asegurar que PETROBRAS S.A., junto con las autoridades locales, confirmen los planes de desarrollo y las actividades adyacentes al ducto así como las estaciones de control de presión.
- Se dará notificación previa a los servicios de emergencia, como la policía, bomberos y servicios de ambulancia con el objeto de minimizar el riesgo de sabotaje e ilustrar los procedimientos de emergencia correspondientes.
- Serán definidos previamente los procedimientos de emergencia (ver Plan de Contingencia), los cuales se implantarán y probarán.

### **7.3.2 Deficiencias causadas por falta de mantenimiento (medida m2).**

La falta de adecuado mantenimiento del sistema podría conllevar peligros asociados con los sistemas de gas. Se implantará el siguiente grupo de medidas de mitigación para reducir este potencial de riesgo y demostrar su aptitud continuada para el propósito:

- Un programa rígido de inspección y verificación se implantará de conformidad con las normas internacionales. El programa contemplará verificación escrita y confirmada de inspecciones en terreno además de un registro escrito respecto de la oportunidad y ejecución de solicitudes de reparaciones.
- Se llevarán a cabo regularmente auditorías externas, calificadas internacionalmente, a fin de determinar si el programa de mantenimiento desarrollado cumple con sus metas de inspección en terreno y reparaciones, y de asegurar su continua aptitud para el propósito.

- Se desarrollará un programa específico según se describe en el punto 7.3.3 para monitorear el sistema de protección catódica que impide la corrosión.

### **7.3.3 Corrosión (medida m3)**

La corrosión es un riesgo especial que resulta de la falta de mantenimiento. Los sistemas de polietileno no son susceptibles de corrosión.

El programa de mitigación de corrosión consiste en el siguiente grupo de medidas:

- Se implantará un programa de control interno de calidad para asegurar que se inspeccione y mantenga regular y correctamente el sistema de protección catódica. Se corregirán las deficiencias que se encuentren en el sistema y se mantendrán registros detallados para asegurar el cumplimiento.
- Según sea necesario, se reemplazarán inmediatamente, y antes que fallen, los componentes del sistema de protección catódica.
- Se reparará el ducto u otras partes del sistema que se encuentren en condición corroída usando técnicas reconocidas o se reemplazarán, según indica el nivel de corrosión.
- Se desarrollará un sistema de rastreo de corrosión para indicar las áreas de problemas específicos de corrosión (por ejemplo, causados por exceso de humedad en el suelo). Estas áreas entonces recibirán más atención y un monitoreo más frecuente.

- Para las áreas sujetas a problemas de interferencia eléctrica particular como filtración de sistemas de transmisión eléctrica o líneas de alta tensión, se considerarán aparatos adicionales de protección contra la corrosión.
- El espesor de pared que se seleccione para el sistema de acero proporciona otra medida de protección.
- Se realizarán reconocimientos potenciales a intervalos cortos para detectar la corrosión en ductos de acero rurales, de conformidad con las normas internacionales.

#### **7.3.4 Crecida centenaria (medida m4)**

El grupo de medidas para reducir el riesgo de daños a la red debido a crecida centenaria es:

- Se han identificado las áreas que corren el peligro de derrumbe provocado por una inundación centenaria, y se reforzará el ducto en estas mismas áreas. Esto se logrará mediante un mayor espesor de revestimiento y protección adicional del concreto según estimen necesario los especialistas de hidroingeniería.
- Se monitorearán estrecha y frecuentemente todas las áreas en peligro de acciones por inundación. Se hará un registro escrito de estas inspecciones y de las acciones necesarias.
- Si las inspecciones indican que los métodos anteriores han sido poco adecuados para asegurar la protección del sistema, se aplicarán medidas adicionales de protección, incluyendo el uso de sacos de arena, gaviones y escolladero para darle protección adicional al sistema.

También, se considerará la nueva colocación del ducto en otra ubicación o profundidad de entierro cuando se determine que persisten problemas particulares.

### **7.3.5 Sismos de máxima intensidad (medida m5)**

Para reducir posibles riesgos para el sistema producto de terremotos mayores que 6,5 en la escala de Richter, Petrobras S.A. implementará el siguiente grupo de medidas de mitigación:

- Se soldarán todas las juntas subterráneas en el sistema de acero. Esto permite un sistema en el cual las uniones tienen propiedades similares al material del ducto y por ende no son susceptibles a daños por vibraciones
- Se inspeccionará el sistema muy de cerca después de todo terremoto grave.
- En casos de movimiento lateral diferencial en vez de movimiento vibratorio, la pared muro del ducto podrá sufrir una tensión que pudiera conducir a agrietamiento en el mismo y posiblemente a filtraciones menores desde el sistema. Esta filtración se detectaría durante las inspecciones de reconocimiento de filtraciones que se emprendan después de un terremoto. Luego se efectuarían reparaciones al sistema.
- Se ubicarán todas las instalaciones superficiales de manera tal de evitar posibles daños producto de la caída de estructuras.
- El Centro de Control y Supervisión de Petrobras S.A. tendrán la capacidad de aislar secciones particulares del ducto que puedan dañarse durante terremotos con el objeto de limitar la pérdida de gas hacia el medio ambiente. Se llevará a cabo esta aislación sólo en caso de una falla importante y catastrófica del sistema.

### **7.3.6 Falla operacional producto de error humano (medida m6)**

Para reducir los posibles riesgos de falla en el sistema producto de error humano de los empleados y contratistas de PETROBRAS S.A., se implantará el siguiente grupo de medidas de mitigación:

- Todo el personal deberá cursar un programa extensivo y repetido de capacitación en seguridad.
- Los contratistas tendrán que cumplir con las normas escritas de Petrobras S.A. sobre la seguridad y capacitación, además de cualquier norma introducida por Petrobras S.A. durante todo el período de sus operaciones.
- Todo el personal, tanto de Petrobras S.A. como de sus contratistas, recibirá capacitación regular y actualizada sobre los problemas técnicos relacionados con la seguridad.
- Se realizarán simulacros de emergencia en forma repetida para reforzar la capacitación y asegurar la destreza para resolver las diferentes situaciones de emergencia.
- El programa de seguridad operacional será auditado en forma periódica por una firma de auditoría internacional experimentada con el objeto de evaluar todos los elementos del programa y recomendar mejoramientos.
- Se mantendrán registros sobre la capacitación que tiene todo el personal en seguridad, tanto de Petrobras S.A. como de los contratistas.