

## 8.0 ANALISIS DE RIESGOS

### 8.1 INTRODUCCION

En este capítulo se presenta el Análisis de Riesgos para la fase de la construcción, operación/mantenimiento, y abandono del proyecto de expansión del gasoducto al altiplano (GAA), que comprende la construcción de un Loop de 31,2 km de longitud entre Pongo y K'ochis y la ampliación de la capacidad de compresión en las estaciones existentes de Oconi y Sica Sica (ver la ubicación del proyecto en las Figuras 3.1 y 3.2).

El presente capítulo ha sido desarrollado de acuerdo a lo requerido en el inciso e) del Artículo 23 del Reglamento de Prevención y Control Ambiental y de los Artículos 117 a 126 del Reglamento Ambiental para el Sector Hidrocarburos (RASH). Según el RASH, el análisis deberá incluir la evaluación y valoración de riesgos, a fin de contar con información sobre la probabilidad de ocurrencia de un evento y la magnitud de sus consecuencias.

En forma general, el análisis o evaluación de riesgos se define como el proceso de estimar la probabilidad de que ocurra un evento no deseado con una determinada severidad o consecuencias en la seguridad, salud, medio ambiente y/o bienestar público.

Según artículo 27°, Titulo 3, capítulo IV del Reglamento de Prevención y Control Ambiental, en el EEIA se deben “identificar las posibilidades de accidentes y emergencias incluyendo riesgos. Como parte de esta actividad se deberá identificar los materiales o sustancias peligrosas que intervendrán en el proyecto, obra o actividad así como los riesgos al ambiente inmediato y la población, por posibles fallas en la extracción, explotación, manejo, almacenamiento o, transporte, tratamiento y disposición final, en el funcionamiento de los equipos e instalaciones. También se deberá identificar las posibles causas por las que se pueden presentar estas fallas (por ejemplo, errores del operador, fallas de operación) de los equipos e instalaciones, desgaste, pérdida de control del proceso, fuego y explosión; cuantificar la probabilidad de ocurrencia de cada una de estas fallas y sus consecuencias.

Asimismo, se deberá elaborar un Plan de Contingencias y Programa de Prevención de Accidentes que permita responder a emergencias con la suficiente eficacia, minimizando los daños a la comunidad y al ambiente”.

Para una adecuada evaluación se debe considerar esencialmente la naturaleza del riesgo, su facilidad de acceso o vía de contacto (posibilidad de exposición), las características del sector y/o población expuesta (receptor), la posibilidad de que ocurra y la magnitud de exposición y sus consecuencias, para de esta manera definir medidas que permitan minimizar los impactos que se puedan generar. Dentro de este análisis es mandatorio especificar los peligros que se contienen en los riesgos mencionados, entendiendo a estos peligros como el potencial de causar daño.

### 8.1.1 Objetivos Específicos

- Identificar y analizar los diferentes factores de riesgo que involucren peligros potenciales que podrían afectar las condiciones socio-ambientales del proyecto y viceversa, tanto durante la construcción como durante la operación/mantenimiento y abandono del Loop Pongo - K'ochis y la ampliación de la capacidad de compresión en las estaciones existentes de Oconi y Sica Sica.
- Establecer, con fundamento en el análisis de riesgos, las bases para la preparación del Plan de Contingencias y el Programa de Prevención de Accidentes para la construcción y operación del Loop, de acuerdo con la aceptabilidad del riesgo estimado.
- Establecer las fallas latentes al proyecto para que sean identificadas, evaluadas e implementadas como medidas de control y recuperación con la participación e involucramiento directo del personal de Transredes y el Contratista.

### 8.1.2. Metodología

El análisis de riesgos se desarrolló mediante la aplicación de una metodología llamada en forma general “Proceso de Gerenciamiento del Peligro y sus Efectos” (Hazard and Effects Management Process, HEMP) que, en función de criterios de probabilidad de ocurrencia genera una matriz de severidad de los riesgos (riesgo alto, medio o bajo). Las etapas del análisis de riesgos se presentan en forma gráfica en la Figura 8.1.

Como se puede ver en Figura 8.1, el primer paso en el análisis de riesgo es la identificación de actividades que impliquen riesgos. Estas actividades pueden ser caracterizadas en las tres fases del proyecto: construcción, operación/mantenimiento y cierre/abandono.

## 8.2 IDENTIFICACION DE AMENAZAS

Una amenaza se define como el evento de posible ocurrencia con capacidad de afectar negativamente las instalaciones y actividades tanto de la construcción, como de la operación, el medio ambiente del área de influencia del proyecto y consecuentemente la imagen de la empresa.

La construcción y operación de un nuevo gasoducto en un corredor en donde ya existen y operan otros ductos puede generar diferentes eventos que afecten el desarrollo normal del proyecto o de las actividades que normalmente se ejecutan en el área. Estas amenazas se conocen como *endógenas* y requieren de un plan de contingencias para su prevención y atención. Entre ellas se consideran: fuga de producto, incendios o explosiones y derrumbes. Existe un procedimiento de la empresa Transredes (PS-040), donde el análisis de este tipo de amenazas está especificado.

Por otra parte, el desarrollo de actividades ajenas a la construcción o a la operación del gasoducto sumadas a los fenómenos naturales puede llegar a constituirse en elementos perturbadores del medio ambiente y posibles generadores de emergencias. Estas amenazas son de tipo *exógeno* y entre ellas se consideran: sismos, inundaciones, tormentas eléctricas,

deslizamientos de terreno, caídas de cables de alta tensión, vientos y temperaturas extremas, impactos por vehículos fuera de control, nevadas anormales y atentados.

Los lugares principales de ocurrencia de una emergencia, durante la construcción del gasoducto, son los frentes de trabajo.

Al evaluar la probabilidad de ocurrencia de un evento se asignará un valor único para el frente de trabajo, sin embargo es importante establecer diferencias según el grado de vulnerabilidad que presenten las áreas a intervenir. Por ejemplo, una fuga de producto combinada con un evento explosivo y de incendio representa mayores riesgos e impactos cuando ocurre cerca de asentamientos humanos.

### 8.2.1 Análisis Estadístico

En Bolivia no se cuenta con suficientes datos de accidentes relacionados con gasoductos para realizar una estadística. Sin embargo, existen datos de la “European gas pipeline incident data group” (EGIG, 1999) donde se ha evaluado datos de nueve países europeos entre los años 1970 y 1998, representando casi dos millones de kilómetros-años de gasoductos. En la Tabla 8.1, se presenta un resumen de la evaluación estadística de roturas de gasoductos en Europa.

**TABLA 8.1**  
**EVALUACION ESTADISTICA DE ROTURAS DE GASODUCTOS EN EUROPA**  
**(basada en la causa de falla y tamaño de la fuga)**

Causa	Cuota de Falla [km·año] <sup>-1</sup>	Porcentaje de Cuota de Falla Total	Porcentaje de Diferentes Tamaños de Fugas			Dependencia del Espesor de Tubo
			< 2 cm	2 cm – RC	RC	
Interferencias por terceros	2.4 x 10 <sup>-4</sup>	50 %	25	56	19	Si
Defecto de construcción	8.5 x 10 <sup>-5</sup>	18 %	69	25	6	potencialmente
Corrosión	7.1 x 10 <sup>-5</sup>	15 %	97	3	<1	Si
Deslizamientos	2,9 x 10 <sup>-5</sup>	6 %	29	31	40	potencialmente
Otros/no conocido	5,2 x 10 <sup>-5</sup>	11 %	74	25	<1	Si
<b>TOTAL</b>	4,76 x 10 <sup>-5</sup>	100 %	48	39	13	

RC = rotura completa del tubo

La mitad de los incidentes han sido provocados por interferencias por terceros, como son los accidentes con moviidades fuera de control, roturas de gasoducto durante trabajos de construcción, sabotaje, etc.

La segunda causa más frecuente de fallas se debe a defectos de construcción, en particular problemas con las soldaduras.

La base de datos del EGIG demuestra que las fallas principalmente dependen del espesor del tubo, del diámetro del tubo y en particular del espesor de la cobertura del ducto.

En la base de datos del EGIG se han identificado dos situaciones: topografía estable y la topografía inestable (donde existe una probabilidad más alta de un movimiento del terreno). Los datos están resumidos en la Tabla 8.2.

**TABLA 8.2**  
**FRECUENCIAS DE UNA ROTURA COMPLETA DE UN GASODUCTO DE 48’’/75 BARES EN**  
**DEPENDENCIA DEL ESPESOR DEL TUBO Y DEL TERRENO**

Esesor del tubo	Frecuencia de una Rotura Completa en Terreno Estable	Frecuencia de una Rotura Completa en Terreno Inestable
26,1 mm	$6,2 \times 10^{-7} \text{ km}^{-1} \text{ año}^{-1}$	$8,8 \times 10^{-7} \text{ km}^{-1} \text{ año}^{-1}$
18,0 mm	$1,4 \times 10^{-6} \text{ km}^{-1} \text{ año}^{-1}$	$1,9 \times 10^{-6} \text{ km}^{-1} \text{ año}^{-1}$
<sup>1)</sup> 6,5 mm	$2,5 \times 10^{-6} \text{ km}^{-1} \text{ año}^{-1}$	$3,4 \times 10^{-6} \text{ km}^{-1} \text{ año}^{-1}$

<sup>1)</sup> calculado por extrapolación lineal

La probabilidad de incendio se incrementa en cuanto mayor sea la presión y el diámetro del ducto, y también, con la presencia de fuentes de ignición externas (vehículos, líneas de transmisión eléctrica, áreas pobladas, etc.).

Aunque el gasoducto entre Pongo y K’ochis no tiene un diámetro de 48 pulgadas, sino solamente de 10 pulgadas, y por otro lado, la geología en Europa es distinta a la de Bolivia, los datos permiten determinar los factores más críticos para una evaluación de riesgos en el presente proyecto.

### 8.2.2 Posibles Eventos de Accidentes

Para la identificación de amenazas y las causas de accidentes se debe considerar que los diferentes escenarios están interrelacionados y no pueden ser analizados en forma completamente independiente. Un accidente provocado por el choque de un vehículo con un gasoducto puede tener una serie de consecuencias, desde la más leve hasta la más grave, como una explosión del ducto. La Figura 8.2 muestra esquemáticamente el árbol de eventos provocados por las amenazas más probables según la estadística del EGIG (1999).

Los resultados más probables de las diferentes causas de accidentes relacionados directamente con el gasoducto son la dispersión del gas en la atmósfera, un incendio que resulta en una explosión, una llamarada o en un chorro de gas encendido.

#### 8.2.2.1 Dispersión de Gas Natural en la Atmósfera

Una fuga en el gasoducto es la salida incontrolada de producto desde la infraestructura empleada para su transporte. En el caso específico de este proyecto, la fuga de producto será evaluada tanto para la fase constructiva como operativa del Proyecto. Las fugas se pueden presentar debido a:

- Procedimientos operacionales inadecuados (escape por válvulas, fallas del sistema en las estaciones de compresión en Oconi y Sica Sica)
- Errores humanos o accidentes (son la causa del 50 % de los incidentes en gasoductos)
- Fugas provocadas por corrosión o fallas en la construcción (fallas en las soldaduras, en el material de tubo, inadecuada preparación de la plataforma o de los soportes etc. son estadísticamente la causa del 33 % de los incidentes en un gasoducto)

- Movimientos incontrolados del ducto por desestabilización de la estructura en zonas críticas (quebradas, zonas de inestabilidad geológica, cruces de ríos, bofedales y caminos)
- Fenómenos naturales (tormentas, nevadas) que desestabilizan la estructura y pueden causar erosión, derrumbes y deslizamientos
- Inadecuado mantenimiento del gasoducto o del sistema de suministro
- Robo por terceras partes

Para evaluar el riesgo relacionado con una fuga de gas natural, es necesario considerar los aspectos toxicológicos del gas natural y en particular del metano como compuesto principal de este producto natural.

#### *- Toxicidad del Metano*

En forma general, metano es considerado como un gas no tóxico ya que es casi biológicamente inerte y los efectos tóxicos están relacionados con la carencia de oxígeno que existe en condiciones con altas concentraciones de metano en el aire.

Kamens y Stern (1973) han publicado una revisión de la literatura y concluyeron que una concentración de 10.000 ppm (1 vol-%) no tiene efectos tóxicos. Forney y Hager (1972) describen un liviano efecto anestésico que no puede ser explicado por la carencia de oxígeno. La “American Conference of Governmental Industrial Hygienists” (ACGIH, 1982) ha definido al metano en la categoría de simples asfixiantes que solamente tiene un efecto en altas concentraciones en aire sin otros efectos fisiológicos significantes. No han sido definidos límites máximos permisibles ya que el factor limitante es el oxígeno disponible.

#### *- Explosividad del Metano*

Otros puntos a analizar son la alta inflamabilidad y explosividad del gas. El metano forma mezclas explosivas con aire y la explosión más fuerte ocurre cuando se mezcla un volumen de metano con 10 volúmenes de aire (o dos volúmenes de oxígeno, Windholz et al., 1976). El rango de explosividad de una mezcla de aire-metano es cuando el metano se encuentra entre 5,5 y 15 % (v/v). Sin embargo, la temperatura de auto-ignición es muy alta (537°C).

Considerando los aspectos mencionados de toxicidad, inflamabilidad y explosividad del metano, las consecuencias principales de una fuga de gas natural son un posible incendio y/o explosión de la mezcla del gas con aire y en mucha menor proporción una intoxicación de personas o la contaminación de la atmósfera. Solamente en el caso de una fuga grande y un escape de gas masivo, personas y animales en la cercanía inmediata del incidente pueden sufrir daños por la presión del gas y por la escasez de oxígeno (asfixia). En caso de incendio y/o explosión del gas se debe considerar los aspectos mencionados en la siguiente sección.

#### 8.2.2.2 Incendios y/o Explosiones

Una fuga de producto combinada con un evento explosivo y de incendio cerca de asentamientos humanos debe ser considerada como el accidente de máxima gravedad.

El efecto de una explosión del gasoducto puede ser estimado utilizando un modelo del “Office of Pipeline Safety (OPS)” de los Estados Unidos. Según este modelo, el área de alta consecuencia (HCA) puede ser estimada con la siguiente formula:

$$r = 0,685 [p(d)^2]^{1/2}$$

con:

- r = radio del área de alta consecuencia (en pies)
- p = presión máxima de operación (en psi)
- d = diámetro del ducto (en pulgadas)

Con una presión máxima de operación de 1200 psi y un diámetro del gasoducto de 10 pulgadas, se calcula un radio del área de alta consecuencia de **72 metros**. Esta área de alta consecuencia también puede ser caracterizada como el área de consecuencias fatales para personas y animales presentes en esa zona. No se consideran efectos de protección por casas u otros obstáculos ni de un tiempo reducido de impacto por escape o movimiento de vehículos.

Los incendios y/o explosiones pueden ser provocados tanto por factores endógenos como por exógenos de acuerdo con las siguientes causas:

- Errores humanos o accidentes
- Acciones planificadas de terceros (robos, atentados o sabotaje)
- Incendio provocado por procedimientos inadecuados durante las operaciones con equipos y maquinaria
- Chispa, fuente de calor o de ignición en presencia de aire o atmósferas combustibles o explosivas
- Incendio y/o explosión provocado por incidente con otros ductos acompañantes
- Corto circuito en instalaciones y conexiones eléctricas de equipos o instalaciones
- Quemaduras provocadas y sin control durante el desbroce de la paja brava (vegetación natural de la zona)
- Fenómenos naturales (tormentas, nevadas, deslizamientos)

### 8.2.2.3 Eventos con Otros Ductos

Además de los eventos directamente relacionados con un escape de gas natural del gasoducto, también es importante considerar los efectos secundarios de la cercanía del gasoducto a otros ductos. En el área de estudio de proyecto, en distintos tramos existe la cercanía a los oleoductos OCOLP1 y OSSA2 y al gasoducto GAA, que utilizan en gran parte el mismo DDV por donde se construirá el Loop proyectado. El DDV tiene un ancho de aproximadamente 15 metros. La probabilidad de un incidente crece con el número de ductos acompañantes, aplicando consideraciones generales de la estadística de probabilidades.

Un incidente con un incendio y/o una explosión del gasoducto puede resultar en un efecto en cadena con los otros ductos existentes e incrementar los efectos adversos. En particular se debe considerar los siguientes eventos probables:

- Daño de la infraestructura de un ducto acompañante (aplastamientos, daño de la plataforma, torceduras, etc.)
- Rotura de un oleoducto con un derrame de petróleo, contaminando el suelo, aire y agua subterránea y superficial
- Rotura de un oleoducto con incendio del petróleo y contaminación del medio ambiente con petróleo derramado
- Rotura del gasoducto GAA con las consecuencias de fugas de gas

Considerando el riesgo de incidentes en cadena por la cercanía de los ductos existentes, el contratista constructor debería elaborar procedimientos de seguridad y contingencias adecuados al riesgo (ver Capítulo 9 para procedimientos en casos de derrame).

### **8.2.3 Amenazas Específicas Durante la Construcción**

#### 8.2.3.1 Interferencias y afectaciones por Terceros

Los daños por terceros durante la fase de construcción incluyen, entre otros:

- Daños a un ducto cercano a la excavación de la zanja del Loop
- Movimiento de tierras con maquinaria pesada o cargas excesivas sobre el ducto enterrado
- Sabotaje o atentados
- Explosión en la cercanía de ductos y estaciones y de otros ductos acompañantes

Existen algunos lugares donde se debería tener especial cuidado durante la construcción del Loop, respetando el ancho del DDV. Los detalles sobre las observaciones del campo se encuentran en la Tabla A.1 y en la Sección A.4 del Apéndice A. En la consideración del riesgo también se debe incluir la posibilidad de daño de los ductos que comparten el mismo DDV.

#### 8.2.3.2 Deslizamientos/Derrumbes

Un deslizamiento es un movimiento del terreno causado por factores exógenos, tales como las altas precipitaciones de lluvias o nevadas que favorecen la reactivación de flujos de tierra (erosión).

El gasoducto en la zona del Loop entre Pongo y K'ochis pasa por quebradas y zonas abruptas que deben ser consideradas como zonas de riesgo para deslizamientos y derrumbes por la geología y las características del suelo.

Los deslizamientos y derrumbes son una amenaza durante el periodo de excavación de zanjas y de la estabilización del terreno con equipo pesado. La consecuencia puede ser daños materiales y personales. En particular, se debe considerar el riesgo de un daño de la plataforma de uno de los ductos acompañantes en el DDV o de uno de los ductos mismos.

### 8.2.3.3 Sismos

Los sismos son movimientos de la corteza terrestre causados por fenómenos naturales como las fallas geológicas activas, la acomodación de placas tectónicas, y la acumulación de energía por el movimiento relativo de las mismas.

Según información de SERGEOMIN (2004), Cochabamba es un departamento propenso a tener movimientos telúricos toda vez que se encuentra ubicado en medio de la denominada falla de Tapacarí.

Las amenazas para el ducto como consecuencia de un sismo de alta intensidad en primer lugar son deslizamientos y daños a la plataforma. Sin embargo, la probabilidad de un daño al ducto causado por un sismo puede ser considerada muy baja.

### 8.2.3.4 Inundaciones

Las inundaciones son el cubrimiento de un terreno con cantidades anormales de agua, producto de una precipitación abundante (crecidas o torrentes) o del desbordamiento de un cuerpo de agua cercano. Las inundaciones, y en particular las lluvias intensas, favorecen la erosión del suelo y pueden causar problemas en la estabilidad de la plataforma.

Las inundaciones en el corredor del gasoducto durante la construcción pueden causar retrasos en la ejecución del proyecto y consecuentemente daños económicos.

### 8.2.3.5 Tormentas Eléctricas

Una tormenta eléctrica es el resultado de una combinación de fenómenos atmosféricos, los cuales generan descargas eléctricas inesperadas. Este tipo de descargas eléctricas puede iniciar un incendio y/o explosión del ducto, dando como resultado un accidente de consecuencias graves. Sin embargo, tiene una probabilidad de ocurrencia muy pequeña.

### 8.2.3.6 Condiciones Climáticas Extremas

Las situaciones climáticas extremas como nevadas o lluvias de alta intensidad, o vientos de categoría de huracán o tornado, pueden causar daños a la estructura de la plataforma del ducto y derrumbes o deslizamientos.

### 8.2.3.7 Accidentes por Inadecuada Operación de Vehículos y Equipo Pesado

Las consecuencias de accidentes con vehículos o equipo pesado pueden ser:

- Daños personales (heridas, incapacidad, muerte)
- Daños materiales de la infraestructura existente (daños de uno de los ductos acompañantes o del Loop mismo, de plantaciones agrícolas, de viviendas, de la carretera, de postes de línea de alto voltaje, etc.)

- Daños al medio ambiente por derrames de aceite, combustible u otros materiales peligrosos.

#### 8.2.3.8 Inadecuada operación de herramientas

Un manejo inadecuado de herramientas como por ejemplo del equipo de soldadura, puede causar por un lado, daños personales a los trabajadores, como también fallas en el ducto en la fase de operación.

#### 8.2.3.9 Accidentes por Movimiento de Tierras (Excavaciones y Aperturas de Zanjas)

Las consecuencias pueden ocasionar daños materiales y personales. En particular, la ejecución de voladuras es un peligro inminente para los trabajadores, la población de la zona, y en particular, para los ductos acompañantes.

#### 8.2.3.10 Inadecuado Relleno de Zanjas

Una inadecuada compactación del suelo durante la nivelación final puede causar desestabilización del ducto por erosión.

#### 8.2.3.11 Contaminación Ambiental

En general, los sitios donde se establecen campamentos constituyen áreas con potencial de contaminación de aguas subterráneas y superficiales, por una inadecuada disposición de aguas domésticas, combustibles, residuos domésticos, etc. Un manejo inadecuado de combustibles y residuos también puede causar contaminación al suelo. Las sustancias peligrosas, como lubricantes, combustibles y otras sustancias dañinas, utilizadas en la construcción del gasoducto, pueden causar daños al medio ambiente.

#### 8.2.3.12 Incendio de Combustibles

Se debe considerar el peligro de incendio del combustible almacenado en los sitios establecidos para el propósito.

#### 8.2.3.13 Ruido

El ruido resultante de movimientos de movilidades y equipos pesados, debe ser considerado como contaminación ambiental y amenaza para la población y trabajadores.

#### 8.2.3.14 Daños a la Capa Arable

Existe la posibilidad de dañar la capa arable de los terrenos de cultivo existentes en algunos lugares en ambos lados del DDV, por efecto de la compactación con equipos pesados en la fase de la construcción del ducto.

## **8.2.4 Amenazas Específicas Durante la Operación**

### 8.2.4.1 Interferencias y afectaciones por Terceros

Los daños al gasoducto por interferencias de terceros es la amenaza número uno según la estadística del “European Gas Pipeline Incident Data Group” (EGIG, 1999) y corresponde a la mitad de los incidentes totales. Los daños por terceros incluyen:

- Vehículos pesados fuera de control en sectores de cruce de gasoducto con carreteras y zonas pobladas
- Movimiento de tierra con maquinaria pesada o cargas excesivas sobre el ducto (por ej. zanjadores, retroexcavadores)
- Prácticas agrícolas (arado de terrenos, cultivos vecinos al DDV, plantaciones de árboles con raíces profundas o extensas, excavación de hoyos, etc.)
- Sabotaje, robo o atentados
- Explosión en la cercanía de ductos y estaciones como de otros ductos acompañantes

Los puntos neurálgicos para este tipo de impactos son cruces de vías, cruces de corrientes/quebradas, y en particular, la cercanía de poblaciones.

### 8.2.4.2 Deslizamientos/Derrumbes

El riesgo de un deslizamiento o un derrumbe durante la operación puede ser considerado más bajo que durante la construcción del ducto. De todos modos, los deslizamientos y derrumbes son una amenaza permanente en las zonas de pendientes pronunciadas y por las características geológicas del terreno.

### 8.2.4.3 Sismos

La amenaza de daños al gasoducto por sismos ha sido discutida en la sección 8.2.3.

### 8.2.4.4 Inundaciones

Existe la permanente amenaza de erosión por inundaciones y una consecuente desestabilización de la plataforma del gasoducto y de los ductos acompañantes (ver sección 8.2.3).

### 8.2.4.5 Tormentas Eléctricas

Las tormentas eléctricas son una amenaza permanente, pudiendo iniciar un incendio y/o explosión del ducto, ocasionando un accidente de máxima gravedad.

### 8.2.4.6 Condiciones Climáticas Extremas

Las situaciones climáticas extremas como nevadas o lluvias de alta intensidad, o vientos de categoría de huracán o tornado pueden causar daños en la estructura de la plataforma del ducto y

pueden causar derrumbes o deslizamientos. Sin embargo, la probabilidad de un evento de esta naturaleza puede ser considerada muy baja.

### 8.2.5 Amenazas Específicas para el Abandono

Después de cumplir con su vida útil, el gasoducto será abandonado siguiendo el Plan de Abandono y Restauración (ver Capítulo 14).

Las amenazas principales durante el cierre y abandono del gasoducto son:

- Fuga de producto (dispersión)
- Incendios y/o explosiones durante el proceso de purgado
- Contaminación del suelo o del agua superficial o subterránea por el condensado de gas natural (una mezcla de hidrocarburos de tipo BTX, PAH y SVOC)
- Accidentes durante del retiro de instalaciones o de tubos (solamente los tubos enterrados se quedan en el lugar)

### 8.3 ESTIMACION DE PROBABILIDADES

Una parte importante del análisis de riesgo es la estimación de las probabilidades de ocurrencia de los posibles incidentes y eventos. Por falta de datos estadísticos de gasoductos en Bolivia, la estimación de las probabilidades ha sido realizada de forma semi-cuantitativa en base a la estadística Europea (EGIG, 1999) y de la experiencia de URSDM en este tipo de operaciones.

Las probabilidades de ocurrencia se definen en la Tabla 8.3, asignando a cada clase un puntaje numérico.

**TABLA 8.3  
PROBABILIDAD DE INCIDENTES Y EVENTOS**

Probabilidad	Definición	Ocurrencia de Eventos	Puntaje
Muy alta	Posibilidad de ocurrencia muy alta; sucede en forma reiterada en el lugar o sitio.	1 en 6 meses	5
Alta	Posibilidad de ocurrencia alta;	1 entre 6 y 12 meses	4
Media	Posibilidad de ocurrencia limitada; ocurrido en Transredes o en la Industria	1 entre 1 y 5 años	3
Baja	Posibilidad de ocurrencia baja; sucede en forma esporádica en la Industria.	1 entre 6 a 20 años	2
Muy baja	Posibilidad de ocurrencia muy baja; Nunca escuchado en la Industria.	1 en 20 años o más	1

En la Tabla 8.4 se detalla la estimación de las probabilidades para las fases de construcción, operación/ mantenimiento y abandono.

**TABLA 8.4**  
**ESTIMACION DE PROBABILIDADES**  
**FASES DE CONSTRUCCION, OPERACION/ MANTENIMIENTO Y ABANDONO**  
**DEL PROYECTO**

Escenario	Código	Probabilidad	Puntaje
<b>Fase de Construcción</b>			
Interferencias y afectaciones por terceros	C-IT	Medio	3
Fuga de producto (dispersión)	C-FU	Alta	4
Incidentes con otros ductos	C-ID	Alta	4
Incendios/ Explosiones	C-IE	Baja	2
Deslizamientos/ Derrumbes	C-DR	Alta	4
Sismos	C-SI	Muy baja	1
Inundaciones	C-IN	Muy baja	1
Tormentas eléctricas	C-TE	Muy baja	1
Daños por condiciones climáticas extremas	C-CL	Muy baja	1
Accidentes por inadecuada operación de vehículos, equipo pesado y herramientas	C-HE	Alta	4
Accidentes por movimiento de tierras	C-AC	Alta	4
Inadecuado relleno de zanjas o de la compactación del suelo	C-RZ	Baja	2
Contaminación ambiental	C-CO	Alta	4
Incendio de combustibles	C-IE2	Muy baja	1
Producción de ruido	C-RU	Frecuente	5
Daños a la capa arable	C-SU	Frecuente	5
<b>Fase de Operación</b>			
Interferencias por terceros	C-IT	Medio	3
Fuga de producto (dispersión)	O-FU	Baja	2
Incidentes con otros ductos	C-ID	Muy baja	1
Incendios/ Explosiones	O-IE	Baja	2
Deslizamientos/ Derrumbes	O-DR	Baja	2
Sismos	O-SI	Muy baja	1
Inundaciones	O-IN	Muy baja	1
Tormentas eléctricas	O-TE	Muy baja	1
Daños por condiciones climáticas extremas	O-CL	Muy baja	1
<b>Fase de Abandono</b>			
Fuga de producto (dispersión)	A-FU	Frecuente	5
Incendios/ Explosiones	A-IE	Medio	3
Contaminación ambiental	A-CO	Frecuente	5
Accidentes durante el retiro de instalaciones	A-HE	Medio	3

#### 8.4 ESTIMACION DE LA SEVERIDAD DE CONSECUENCIAS

El siguiente paso para el cálculo del riesgo es la estimación de la severidad de consecuencias, la cual se encuentra explicada en la tabla 8.5. La severidad de las consecuencias de un evento se evalúa sobre los factores de vulnerabilidad y se califica dentro de una escala que establece cinco niveles.

La vulnerabilidad es el grado relativo de sensibilidad que un sistema tiene respecto a una amenaza determinada.

Los factores de vulnerabilidad dentro de un análisis de riesgos permiten determinar cuales son los efectos negativos, que sobre un escenario y sus zonas de posible impacto pueden tener los eventos que se presenten.

Para efectos del análisis de riesgo de las instalaciones que manejan hidrocarburos y de las zonas de interés ambiental y socioeconómico, se consideran los siguientes factores de vulnerabilidad:

- **Personas:** se refiere al número y clase de afectados (empleados, personal de emergencia y la comunidad); considera también el tipo y la gravedad de las lesiones.
- **Medio ambiente:** incluye los impactos sobre cuerpos de agua, fauna, flora, aire, suelos y comunidad a consecuencia de la emergencia.
- **Bienes:** representadas en instalaciones, equipos, producto, valor de las operaciones de emergencia, indemnizaciones, entre otros.
- **Reputación:** califica el nivel de deterioro de la imagen corporativa de la empresa como consecuencia de posibles eventos.

Los criterios de calificación de la gravedad en función de los factores de vulnerabilidad son resumidos en la Tabla 8.5.

**TABLA 8.5  
CALIFICACION DE SEVERIDAD EN FUNCION  
DE LOS FACTORES DE VULNERABILIDAD**

Factor de Vulnerabilidad	Calificación de Severidad			
	Insignificante	Marginal	Crítica	Catastrófica
	0	1	2	3
<b>Personas</b>	No hay lesiones, o no requiere atención hospitalaria	Lesiones leves que requieren atención	Lesiones con necesidad de hospitalización (incluye “lost time injuries” e incapacidad parcial permanente)	Muertes o incapacidad total permanente
<b>Medio Ambiente</b>	No hay impactos ambientales significativos	Impactos ambientales dentro del área del escenario de emergencia; y/o impactos reversibles	Impactos en las áreas aledañas al escenario y/o impactos parcialmente irreversibles	Impactos con consecuencias sobre la comunidad y/o impactos irreversibles
<b>Bienes</b>	Menos de US\$ 0.1 millones	Entre US\$ 0.1 y 1 millones	Entre US\$ 1 y 10 millones	Más de US\$ 10 millones
<b>Reputación de TRANSREDES</b>	Conocimiento interno solamente	Conocimiento local	Conocimiento nacional	Conocimiento internacional

## 8.5 CALCULO DEL RIESGO

El último paso es el cálculo del riesgo. El riesgo está definido como el producto entre Probabilidad y Severidad del escenario y permite la definición de la necesidad de las medidas de planificación para el control y reducción de riesgos.

Para la definición de las medidas de planificación se aplican los criterios de la Tabla 8.6:

**TABLA 8.6**  
**NIVELES DE PLANIFICACION EN BASE A NIVELES DE RIESGO**

<b>R = P x S</b>	<b>Calificación</b>	<b>Nivel de Planificación</b>
<b>R &lt; 3</b>	Riesgo bajo – aceptable	No requiere plan
<b>3 = R = 6</b>	Riesgo medio – tolerable	Suficiente un plan general
<b>R &gt; 6</b>	Riesgo alto – inaceptable	Requiere un plan detallado

Un valor de riesgo menor a 3 implica que el riesgo es bajo, lo que significa que este escenario no representa una amenaza significativa y consecuentemente no requiere de un plan especial.

Un valor de riesgo entre 3 y 6 implica que el riesgo es tolerable, lo que significa que se debería desarrollar actividades para la gestión del riesgo. Para el nivel de planificación, un plan de carácter general es suficiente para tomar las medidas preventivas correspondientes.

Un valor de riesgo mayor a 6 implica que el riesgo es inaceptable, lo que significa que representa una amenaza significativa que requiere acciones prioritarias e inmediatas en la gestión de riesgo. Es importante que este plan considere los aspectos de prevención, mitigación y contingencias que contempla cada uno de estos escenarios.

## **8.6 RESULTADOS DEL ANALISIS DE RIESGO**

La Tabla 8.7 muestra el cálculo de riesgo, la Tabla 8.8 la matriz de niveles de aceptación del riesgo, y la Tabla 8.9 se presenta los niveles de planificación requeridos para los diferentes escenarios de riesgos identificados (ver tablas al final del presente capítulo).

Las medidas que deben ser implementadas de acuerdo a los niveles de planificación requeridos, deben ser incluidas en los diversos manuales, procedimientos y programas que serán implementados durante la construcción, operación y abandono del proyecto, incluyendo los siguientes:

- Plan de Contingencias
- Plan de Prevención y Mitigación
- Plan de Salud y Seguridad
- Plan de Aplicación y Seguimiento Ambiental
- Manual de Seguridad Operativa de TRANSREDES
- Plan de Administración de Crisis de TRANSREDES

## 8.7 RESULTADOS DEL ANALISIS POR ESCENARIO

### 8.7.1 Construcción

Los riesgos de los siguientes escenarios han sido calificados como muy altas y consecuentemente inaceptables en uno o más factores de vulnerabilidad y consecuentemente necesitan un plan detallado de gestión de riesgo:

- Interferencias y afectaciones por terceros (personas)
- Eventos con otros ductos (en todos los factores de vulnerabilidad)
- Incendios/explosiones (bienes)
- Deslizamientos/derrumbes (bienes)
- Accidentes por inadecuada operación de vehículos, equipo pesado y herramientas (personas, reputación)
- Accidentes por movimiento de tierras (personas, bienes, reputación)

La clasificación de gravedad del escenario interferencias por terceros va desde insignificante hasta catastrófico, ya que de producirse un leve choque de un vehículo contra el ducto, éste podría no ocasionar un daño mayor, pero también podría ocasionar daños severos al gasoducto. De producirse un incendio y/o explosión, en casos de atentados o accidentes graves, inclusive podrían destruirse los ductos acompañantes. El último escenario representa el caso de un incidente de máxima gravedad ya que en un radio de más de 70 metros existe una alta probabilidad de mortalidad de personas y animales, además de daños graves a la infraestructura como ser viviendas. La amenaza de un accidente en cadena con los otros ductos presentes debe ser considerada en planes detallados de gestión de riesgo ya que las consecuencias de un accidente donde dos o más ductos están involucrados son de gravedad.

El riesgo de accidentes por inadecuada operación de vehículos, equipo pesado y herramientas (equipo de soldadura, grúas, etc.) durante la construcción es considerado como muy alto y requiere de planes detallados de gestión de riesgo. En la evaluación del riesgo también se consideró posibles daños durante la operación del gasoducto por fallas en la construcción, causadas por un manejo inadecuado de los equipos de soldadura, control de hermeticidad, etc. Los accidentes por movimiento de tierra son una amenaza en particular durante la ejecución de voladuras en la fase de la construcción y requieren de planes detallados de gestión de riesgo.

El riesgo de deslizamientos y/o derrumbes es considerado de importancia durante la construcción puesto que en sectores del corredor del gasoducto los suelos son susceptibles a la erosión. Este escenario requiere la preparación de un plan detallado para la prevención de erosión y el manejo geotécnico tanto del gasoducto a instalar como en los ductos acompañantes ya instalados.

Los siguientes aspectos deberían ser considerados en los planes generales de gestión de riesgo ya que representan riesgos aceptables en uno o más factores de vulnerabilidad:

- Interferencias y afectaciones por terceros (medio ambiente, reputación)
- Fuga de producto (bienes)

- Incendios/Explosiones (personas, medio ambiente, reputación)
- Deslizamientos/derrumbes (reputación)
- Accidentes por inadecuada operación de vehículos, equipo pesado y herramientas (bienes)
- Accidentes por movimiento de tierras (medio ambiente)
- Contaminación ambiental (reputación)
- Producción de ruido (reputación)

### **8.7.2 Operación**

Durante la operación, la amenaza de interferencias por terceros tiene el riesgo más elevado y requiere de planes detallados de gestión de riesgo para la vulnerabilidad de daños a personas. Los otros factores de vulnerabilidad son considerados de riesgo tolerable y consecuentemente no requieren de una consideración detallada sino general en los planes de gestión de riesgo. Los puntos neurálgicos para este tipo de impactos son cruces de vías, cruces de corrientes/quebradas y en particular, la cercanía a poblaciones. Intentos de robo de producto deben ser considerados también en los planes de gestión de riesgo.

La fuga de gas natural se considera como de bajo peligro, ya que las características del producto le permiten rápidamente dispersarse y elevarse en la atmósfera. La amenaza más grande es un incendio del producto con la posibilidad de un final catastrófico. El riesgo de un incendio se presenta en particular en la fase de la construcción, y mucho menos, en la fase de la operación del gasoducto, donde los factores de vulnerabilidad son tolerables.

Los eventos con otros ductos son menos probables en la fase de la operación que en la fase de la construcción, por lo tanto, tienen un riesgo clasificado como tolerable en los factores de vulnerabilidad, a pesar de la alta gravedad de las consecuencias.

Deslizamientos y/o derrumbes son mucho menos probables en la operación del ducto que en la fase de la construcción. El riesgo para los bienes ha sido clasificado como tolerable. El factor de vulnerabilidad son los bienes, en particular el ducto mismo o los ductos acompañantes. Por lo tanto, se debe considerar esta amenaza en los planes generales de prevención, mitigación y contingencia.

### **8.7.3 Cierre y Abandono**

En particular, la amenaza de escape de cantidades considerables de gas y un incendio y/o explosión es considerada como un riesgo tolerable a inaceptable. Por lo tanto, se recomienda la preparación de planes detalladas de prevención, mitigación y contingencia, en particular para el contratista que realizará este trabajo.

El cierre del gasoducto también tiene un riesgo tolerable de la contaminación del suelo o del agua superficial o subterránea por el condensado de gas natural (una mezcla de hidrocarburos de tipo BTX, PAH y SVOC) que puede ser acumulado en las partes bajas del ducto.

Los accidentes durante el retiro de instalaciones o de tubos no enterrados deben ser considerados como de alto riesgo por la probabilidad de dañar a uno de los ductos acompañantes y por lo tanto requieren de planes detallados de gestión de riesgo.

## 8.8 CONCLUSIONES

El análisis de riesgo realizado se basa en criterios cualitativos y en datos estadísticos generales y constituye un análisis inicial de los riesgos asociados a las fases de construcción, operación, mantenimiento y abandono del proyecto. Es importante que una vez definidas las condiciones finales para estas fases, se afinen las consideraciones de acuerdo a las especificaciones del diseño final.

Es importante que los escenarios de emergencia definidos en el análisis de riesgos presentados en este informe, deban ser empleados como una referencia para la realización de los análisis de riesgos más detallados y específicos. Estos deberán realizarse antes del inicio de la fase de construcción (por parte del contratista de construcción) y antes de iniciar la operación del Loop del gasoducto.

Los resultados del análisis de riesgos son las matrices de aceptabilidad del riesgo y de los niveles de planificación que permiten desarrollar planes de gestión, con prioridades respecto a las diferentes vulnerabilidades.

Los resultados del análisis de riesgos indican que los eventos que presentan mayor riesgo durante la construcción, son los incendios y explosiones, susceptibles de ser ocasionados tanto por amenazas de tipo exógeno (eventos iniciados externos), como endógeno (fuga accidental de producto combinada con la presencia de fuente de ignición, etc.). Una fuga de producto combinada con un evento explosivo y de incendio cerca de asentamientos humanos debe ser considerada como un accidente de máximo impacto.

Considerando la máxima presión y el diámetro del gasoducto, se puede calcular un radio de alta consecuencia de 72 metros. Este calculo no incluye la posibilidad de un impacto a otros ductos acompañantes que podría aumentar el radio de alta consecuencia por incendios y/o explosiones en cadena.

Las posibles medidas para reducir el riesgo de un incidente por terceros son en forma general:

- Enterrar a mayor profundidad
- Cubrir el ducto con una capa de cemento
- Aumentar el espesor del ducto
- Incrementar las campañas de comunicación social

Se puede concluir que el riesgo por daños del gasoducto por interferencias por terceros es la amenaza más grande y requiere de planes detallados de prevención y contingencias.

Los escapes de gas por fugas pueden tener una variedad de razones, y son mucho más probables en la fase de construcción y de abandono que en la fase de la operación. Deberían existir medidas estrictas de control de calidad en la fase de construcción para descubrir rajaduras en las soldaduras o en el material del tubo, antes de la operación rutinaria según procedimientos de

TRANSREDES. Las fugas de gas por efectos de corrosión son una amenaza durante la operación y resultado de un mantenimiento deficiente del gasoducto. El riesgo de escape de producto durante el proceso de abandono del ducto es elevado, en particular durante el purgado.

La coexistencia de hasta cuatro ductos en algunos sectores de cruces representa un riesgo elevado, en particular en la fase de construcción. La distancia entre los ductos dentro del DDV es pequeña y consecuentemente existe el riesgo de un incidente en cadena. La fase de la construcción es considerada la más crítica por el trabajo con equipos de soldadura, equipos pesados y posiblemente por la necesidad de realizar voladuras.

El riesgo de accidentes por inadecuada operación de vehículos, equipo pesado y herramientas (equipo de soldadura, grúas, etc.) durante la construcción y abandono es considerado como inaceptable en varios factores de vulnerabilidad y requiere de planes detallados de gestión de riesgo. En la evaluación del riesgo también se consideró posibles daños durante la operación del gasoducto por fallas en la construcción, causadas por un manejo inadecuado de los equipos de soldadura, control de hermeticidad, etc.

Los accidentes por movimiento de tierra son una amenaza, en particular, durante la ejecución de voladuras en la fase de la construcción y requieren planes detallados de gestión de riesgo.

El riesgo de los factores de vulnerabilidad para contaminación del agua superficial, agua subterránea y suelo por desechos y hidrocarburos, en particular la fase de la construcción y del abandono, es considerado como tolerable.

## 8.9 REFERENCIAS

- U.S. Department of Transportation, Room PL-401, 400 Seventh Street, SW, Washington, DC 20590-0001.
- Estudio de impacto ambiental de la expansión del gasoducto Yacuiba - Río Grande de Transredes ([www.transredes.com/pdfs/yabog/Capitulos/Cap4.PDF](http://www.transredes.com/pdfs/yabog/Capitulos/Cap4.PDF)).
- Office of Pipeline Safety (OPS), Research and Special Programs Administration (RSPA) del "Department of Transportation (DOT) de los Estados Unidos; GRI Report: GRI-00/0189.
- Hunter D. 1978. The Diseases of Occupations. 6<sup>th</sup> ed. London: Hodder and Stoughton. p. 630-632.
- Kamens, R.M. and Stern, A.C. 1973. Methane in air quality and automobile exhaust emission standards. J. Air Pollution Control Assoc. 23: 592-596.
- Forney, R.B., Jr. and Hager, R.N. 1972. Reaction of mice from acute exposure to various concentrations of methane, ethane, propane and butane in air, or in oxygen. Edinburgh, Scotland: Sixth International Meeting of Forensic Sciences. [12 p.].
- Windholz, M, Budavari, S., Stroumstos, L.Y., y Fertig, M.N. 1976. The Merck Index: An Encyclopedia of Chemicals and Drugs. 9<sup>th</sup> ed. Rahway, NJ: Merck and Co. p. 776.
- European Gas Pipeline Incident Data Group: Gas Pipeline Incidents. 4<sup>th</sup> Report 1979-1998, 1999
- SERGEOMIN (Servicio de Geología y Minería), Juan Tórrez, Publicación en OPINION 6 de Septiembre, 2004.