

# Análisis de riesgos de gasoductos NAG 100 aplicando metodología BOW TIE

Este trabajo fue seleccionado del 3° Congreso de Integridad en Instalaciones en el Upstream y Downstream de Petróleo y Gas del IAPH (2017).

Por **Sebastián Monetti** (Genelba) y **Paul Rodríguez Jordán** (Pampa Energía S.A.)

**Este trabajo explica el uso de la metodología BOW TIE (diagrama de lazo) en la generación de análisis de riesgos cualitativos en gasoductos NAG 100. En este caso se aplicó a cinco ductos con un software con formato amigable. Combinado con el Programa de Gestión de Integridad, bases de datos en SAP y en GIS se logra la evaluación rápida y confiable de riesgos de estos equipos.**

**E**ste trabajo está orientado a la aplicación de una herramienta informática en la resolución de análisis de riesgo cualitativos en gasoductos alcanzados por la NAG100. El método aplicado es el BOW TIE (diagrama de moño) que permite la evaluación directa de riesgo de las barreras tanto preventivas como correctivas de los eventos de falla analizados. En el desarrollo se enumerarán otras ventajas observadas y las limitaciones.

El alcance de este análisis se limita al gasoducto NAG 100 de alimentación a la Central Termoeléctrica Genelba (provincia de Buenos Aires) y gasoductos de yacimientos en Neuquén, todos propiedad de la empresa, con circulación de gas en especifica-

ción de venta. (la aclaración es válida, ya que operamos otros gasoductos con gas de yacimiento que contienen contaminantes, como SH<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, entre otros, que no fueron seleccionados en este caso).

## Expectativas del análisis

Al inicio de la aplicación del análisis se fijaron expectativas, se evaluaron individualmente y se les asignó un orden de importancia en función de las necesidades del momento:

1. Cumplimiento de todos los requisitos de la regulación (NAG100).
2. Asegurar que se contemplan todos los modos de falla previstos en la ASME B31.8, con un grado de detalle mayor en función de la



- Mejoras en la documentación de los análisis y la posibilidad de incorporar cambios en el futuro.
- Compartir experiencias con otras empresas del grupo al ejecutar estos análisis de forma conjunta (evaluaciones cruzadas).
- Evaluar el riesgo para cuatro ejes principales: seguridad de las personas, impacto en el medio ambiente, costo e imagen de la compañía.
- Identificar las tareas críticas que se realizarán luego de la puesta en servicio.

Adicionalmente a estas expectativas hacemos mención a una particular: lograr la conexión o integración entre lo denominado “seguridad de procesos” y lo referente a “integridad de los ductos”, que tradicionalmente transitan por sendas separadas y después se complementan. En este caso, la herramienta utilizada (BOW TIE) permite la integración de ambos procesos en uno solo, simplifica el análisis y potencia sus resultados.

La visión de “barreras” que se obtiene con este método es lo que permite esta integración. El camino en la empresa fue el siguiente:

- Primero aplicar BOW TIE para sustituir otras herramientas de análisis de riesgo.
- Segundo aplicar BOW TIE para analizar riesgos de seguridad y de integridad en conjunto.

### Antecedentes

Este tipo de análisis (BOW TIE) se utiliza desde hace unos siete años en diferentes situaciones, generalmente orientados a la seguridad de procesos, con lo cual la herramienta en sí no es una novedad, sino su aplicación a ductos.

Algunos ejemplos son las aplicaciones anteriores en análisis de riesgos:

- Sistemas de incendio
- Sistemas de producción de petróleo/gas
- Sistemas de inyección de agua dulce/salada
- Sistemas de compresión e inyección de gas en yacimientos
- Plataformas *offshore* de perforación
- Plataformas *offshore* de producción
- Tableros UPS

- Sistemas de generación de energía esencial/de emergencia

### Conformación del equipo de trabajo

El equipo de trabajo tuvo la participación activa de Operaciones, Ingeniería y de CSMS (calidad, seguridad, medio ambiente y salud ocupacional). Cada equipo estuvo compuesto por:

### Coordinador del análisis

- Ingenieros de Integridad (Ingeniería centralizada) Miembros del equipo
- Ingenieros de producción (Operación)
- Operadores de ductos
- Supervisores de integridad
- Contratistas de ductos (de forma parcial)
- Ingenieros de seguridad (CSMS)
- Ingenieros de mantenimiento (Ingeniería centralizada)

Esta composición heterogénea y multidisciplinaria aseguró una visión de conjunto, integrando a todos los interesados en la operación de los ductos y llevando esta visión a cada uno de los elementos analizados.

### Normas aplicables - legislación aplicable

Se focalizó en algunos aspectos de las siguientes normas y legislación de cumplimiento obligatorio:

- Norma NAG 100 y complementarias publicadas por el ENARGAS con alcance nacional.* Análisis de riesgo cualitativos y posteriormente, si correspondiera, análisis cuantitativos (fuera de alcance de este trabajo).
- Norma ASME B31.8.* Definición y análisis de las denominadas “amenazas” para su evaluación
- Resolución 347 de Neuquén con alcance local.*

Lo más relevante es el requisito de contar con un GIS detallado que se utilizó para la evaluación de riesgos, principalmente, la funcionalidad de recorrido y la visualización del área de impacto de cada gasoducto (permite identificar invasiones a la traza).

experiencia acumulada en las operaciones.

- Dividir el ducto en tramos para su análisis.
- Factibilidad para evaluar los riesgos en formato de matriz cualitativa de un modo simple y que permita compartir la información.
- Visualización de los elementos de seguridad y de control de los riesgos identificados.
- Identificación de riesgos que pudieran requerir un cálculo cuantitativo posterior.
- Mejora en la coordinación y la aplicación de resultados de Integridad con Producción e Ingeniería.
- Facilitar la integración de este análisis con otros, como HAZOP preexistentes o futuros sobre las instalaciones.

Expectativas	Resultados
1. Cumplimiento de todos los requisitos de la regulación (NAG100).	Cumple.
2. Asegurar que se contemplan todos los modos de falla previstos en la ASME B31.8, con un grado de detalle mayor en función de la experiencia acumulada en las operaciones.	Cumple. Los modos de falla, además, se pueden copiar de un tramo a otro en caso de ser repetitivos simplificando el trabajo de documentación.
3. Dividir el ducto en tramos para su análisis	Cumple, se puede abrir indefinidamente.
4. Factibilidad de evaluar los riesgos en formato de matriz cualitativa de un modo simple y que permita compartir la información.	Cumple. El software utilizado tiene una limitación que no permite la comparación entre “antes” y “después” de las matrices.
5. Visualización de elementos de seguridad y control de los riesgos identificados.	Cumple en un nivel de verificación de los mecanismos de degradación de las barreras. No permite un segundo/tercer nivel de control, pero no fue identificado como necesario.
6. Identificación de riesgos que pudieran requerir un cálculo cuantitativo posterior.	Cumple, en caso de no poder disminuir el riesgo con las barreras aplicadas. Por otro lado, los requisitos de la NAG 100-2016 se pueden identificar con anterioridad.
7. Mejora en la coordinación y la aplicación de resultados de Integridad con Producción e Ingeniería.	Cumple. Principalmente al identificar las barreras preventivas.
8. Posibilitar/facilitar la integración de este análisis con otros, como HAZOP preexistentes o futuros sobre las instalaciones.	Cumple al identificar los riesgos y la vinculación directa de amenazas con barreras.
9. Mejoras en la documentación de los análisis y la posibilidad de incorporar cambios en el futuro.	Cumple. Es muy simple la modificación de estos análisis una vez documentados. Así como la documentación por separado de cada uno de ellos para verificar las modificaciones.
10. Compartir experiencias con otras empresas del grupo al ejecutar estos análisis de forma conjunta (evaluaciones cruzadas).	Cumple por su facilidad gráfica de verificación.
11. Evaluar el riesgo para cuatro ejes principales: seguridad de las personas, impacto en el medio ambiente, costo e imagen de la compañía.	Cumple, la evaluación es en cada eje por separado sin promediar.
12. Identificar las tareas críticas que se realizarán luego de la puesta en servicio.	Cumple, quedan registradas todas y cada una de las tareas que tienen relación con las barreras tanto preventivas como correctivas.

## Relevamiento de información disponible de los ductos

Como primer paso del análisis, se recopiló la información disponible referente a los siguientes puntos:

- Inspecciones iniciales al momento de la construcción de los ductos, tipo de material, pruebas hidráulicas.
- Evolución histórica de presiones de trabajo en los ductos.
- Informes de auditorías anteriores ejecutadas sobre los ductos, tanto internas como externas.
- Análisis de riesgo anteriores.
- Acción de terceros, como construcción de rutas, mantenimiento de caminos, tendido de nuevos ductos y nuevas locaciones de contratistas.
- Otros análisis de riesgos ejecutados sobre otros ductos para evaluar posibles semejanzas o analogías que podrían ser aplicadas.
- Análisis de riesgos específicos de aluviones en zonas de Neuquén, evaluación de defensas y riesgo hídrico específico.
- Resultados de inspecciones ante-

rios: pasaje de ILI, protección catódica, recorrida de traza, ensayos DCVG, medición de tapadas.

- Resultados registrados de fallas durante la operación de los ductos, detalle de las reparaciones.
- Identificación de reparaciones provisionarias pendientes de ejecución de las definitivas.

## Descripción del método utilizado (BOW TIE)

Este método de análisis se originó en los árboles de falla (FTA) y análisis de ries-

gos HAZAN/HAZOP, se logró una simplificación que permite ampliar su utilización a una mayor cantidad de casos.

La principal funcionalidad es identificar los escenarios posibles de riesgos, sus mecanismos de control (barreras), la forma de controlar la degradación de las barreras y los mecanismos de control secundarios.

El formato gráfico permite identificar a la izquierda del mismo las barreras preventivas (antes de la falla) y a la derecha las correctivas (después de la falla). Documentado en norma ISO 31.010 (Figura 1).

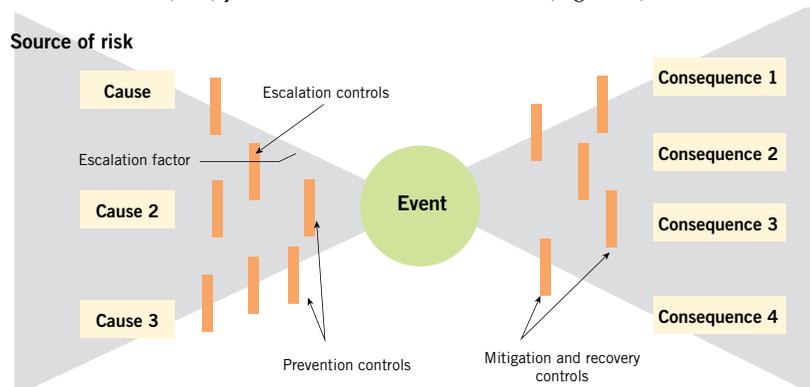


Figura 1.

- A izquierda del gráfico medidas preventivas.
- A derecha del gráfico medidas correctivas.
- En el gráfico se indican “causas” en general esto se aplica como “amenazas”.
- El denominado “evento” puede ser asumido como la “falla”.
- Los “escalation factors” son los mecanismos de degradación de las barreras primarias, que en este gráfico aparecen como “controls”.

- ☐ Peligro: Acto de operar un gasoducto de alta presión, es el negocio en sí mismo.
- ☐ Eventos: (simplificando los eventos son las fallas cuando ocurren)
  - ⊕ Pérdida de contención
  - ⊕ Rotura catastrófica de ducto
  - ⊕ Fallas de cumplimiento de NAG 100
  - ⊕ Ingreso de gas sin odorizar a la planta

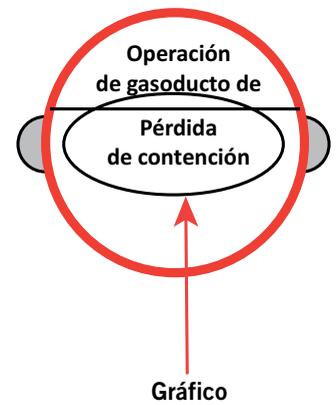


Figura 2.

### Desarrollo del análisis

**Primer paso:** aplicado a este caso particular (Figura 2).

*Activity groups:* datos varios necesarios para completar el análisis anterior, forma parte de datos fijos, codificaciones, etc. Es información requerida que se necesita completar antes de comenzar el análisis aunque después puede ser modificada o completada.

**Segundo paso:** como ejemplo continuaremos con la secuencia completa correspondiente a este “evento” denominado 1.01 Pérdida de contención.

A este evento concurren una o más “amenazas” que, para el caso de gasoductos, consideramos las enumeradas en la ASME B31.8 con un nivel de detalle mayor para ajustarlo a este caso (ducto de Genelba) (Figura 3).

Este *software*, en particular, permite trabajar ciento por ciento en modo texto y completa el gráfico en forma automática, o también trabajar ciento por ciento en modo gráfico y completa el modo texto en automático.

Contenido complementario de la figura 3:

#### Amenazas

- Corrosión externa cruce río la Matanza
- Corrosión externa cruce de canal de riego
- Corrosión externa en toda la traza
- Corrosión interna cruce río la Matanza

**Tercer paso:** continuando con el caso GENELBA, se completan las “consecuencias” posibles de esta falla/evento (Figura 4).

Cada barreras debe ser evaluada en función de su efectividad. Finalmente, al recorrer cada escenario posible de falla con sus barreras puede ser estimado el riesgo en caso de ocurrir la consecuencia. Esto se puede hacer analíticamente con verificación gráfica inmediata.

- Datos requeridos como carga previa en el software:

- Personnel*
- Frecuencias*
- Competancias*
- Control types*
- Effectiveness*
- Activity categories*
- Risk matrix*

Los seis primeros son datos requeridos en los pasos siguientes, es preferible disponer de ellos de forma anticipada. El último, *risk matrix*, es la matriz de riesgo de la empresa, se puede adoptar la original del *software* o modificarla si la empresa dispone de una particular. En realidad, no se esperan grandes diferencias, tanto en uno como en otro caso.

- Informes preestablecidos en el *software*:

- Print reference tables*
- Print hazards and top events*
- Print activities, tasks and responsible persons*
- Print threats and barriers*
- Print threats, barriers and tasks*
- Print consequences and barriers*
- Print consequences, barriers and tasks*
- Print activity descriptions*
- Print evaluate risks*
- Print tasks not linked to barriers*
- Print activities hazard*

Todos estos informes son copiados en archivos Excel de fácil manejo posterior, el más utilizado es el resultado final “print evaluated risks”.

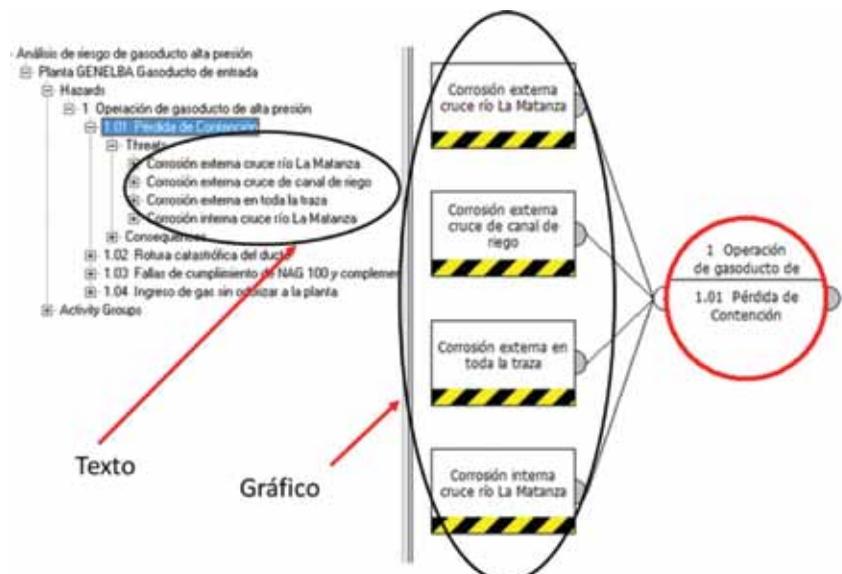
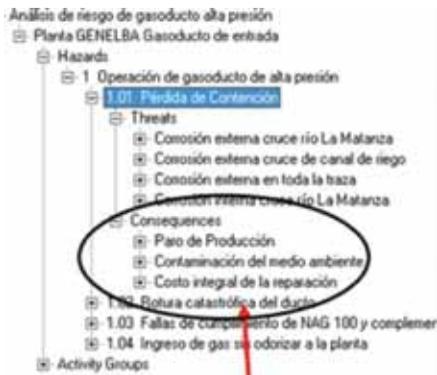
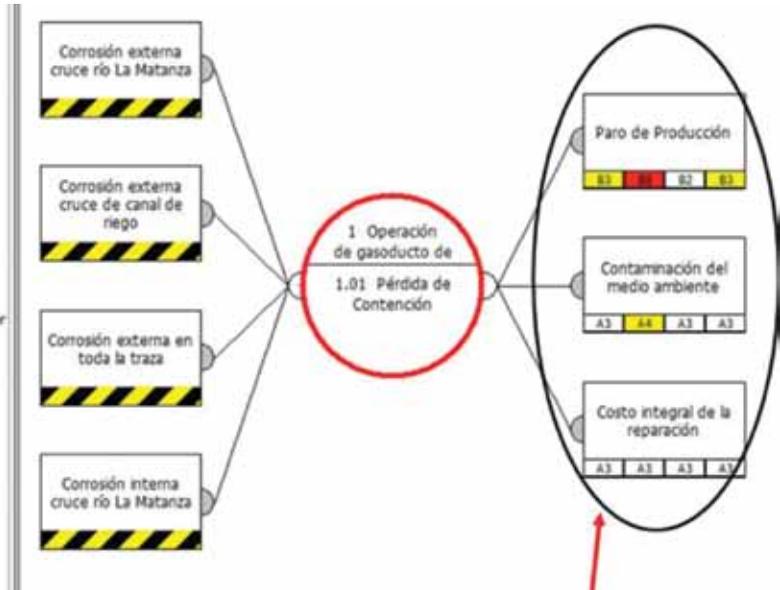


Figura 3.



Texto



Gráfico

Figura 4.

Contenido complementario:

**Consecuencias**

- Paro de producción (afecta la generación de energía).
- Contaminación del medio ambiente.
- Costo integral de la reparación.

Al observar el gráfico se puede identificar el formato de “moño” que da nombre al método, a la izquierda figuran las amenazas y a la derecha las consecuencias. Hasta aquí no se han considerado barreras de ningún tipo, es decir que cualquier amenaza producirá la máxima consecuencia evaluada para la misma sin que nada se lo impida, el riesgo en este caso sería máximo, posiblemente no tolerable para la operación.

Aquí comienza el trabajo de incorporación de “barreras” tanto preventivas (a la izquierda en el gráfico) como correctivas (a la derecha en el gráfico) que impidan o mitiguen las consecuencias, que finalmente deriva en un riesgo de operación.

**Aclaraciones sobre el tercer paso**

1. La falla prevista es solamente una pérdida sin llegar a la rotura catastrófica que se considera por separado.
2. Para simplificar el trabajo, no se extiende esto en los sucesivos tra-

mos con que se desarrolló todo el análisis final.

3. Las pérdidas de producción son significantes para GENELBA porque implicarían la interrupción del servicio de generación de energía eléctrica.
4. El costo de la reparación es bajo si se lo compara con el costo total de la instalación, es decir, el valor de referencia adoptado.
5. En los cuadros de consecuencia puede observarse el valor de riesgo asumido como “inicial” sin ninguna barrera, ya sea preventiva o correctiva.

**Evaluación del riesgo**

La evaluación de riesgo considera como es habitual probabilidad *versus*

consecuencia de acuerdo con la figura 5.

En las columnas se expresan la posibilidad de ocurrencia del evento como “probabilidad”.

En las líneas se expresan las “consecuencias”, en este caso como riesgo de personas (*people* en el *software*).

El riesgo asignado para este caso (A3) es definido por una probabilidad y una consecuencia. Por regla de colores se observa que es mínimo o tolerable.

Esta evaluación se repite considerando siempre la misma probabilidad pero variando las consecuencias para diferentes factores, en este caso tomamos los siguientes:

- Personas (seguridad)
- Medio ambiente (contaminación)
- Activos (costo-instalación)
- Reputación (imagen externa).



Figura 5.

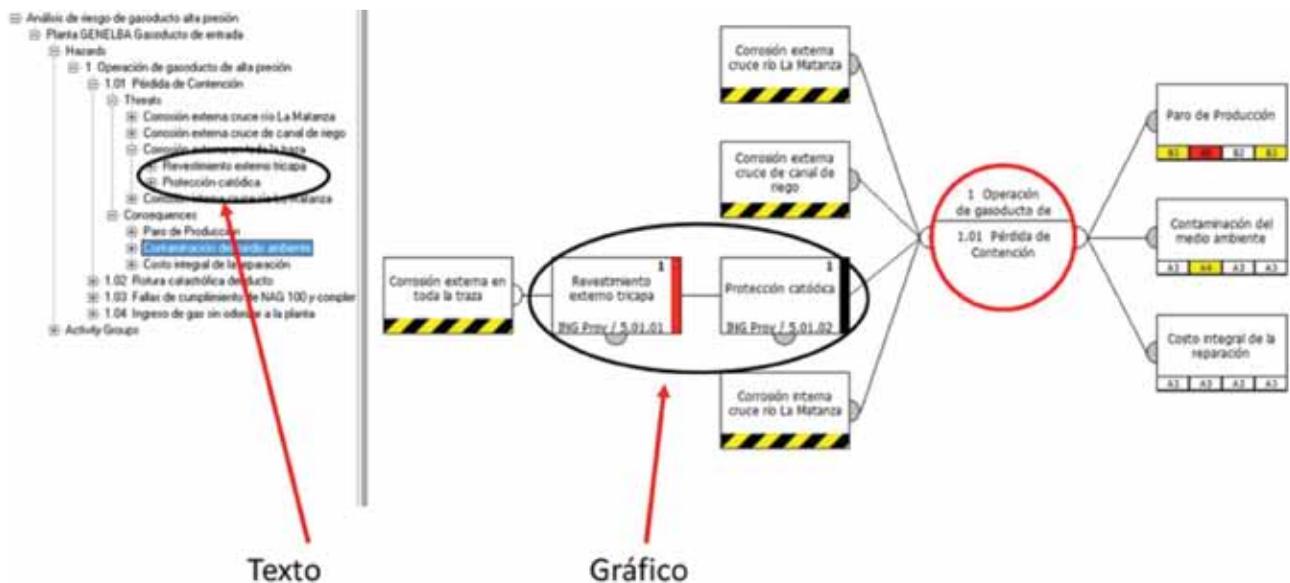


Figura 6.

### Principal limitación del método

La evaluación de la probabilidad tiene un elevado valor de incertidumbre. Es más, recurrir a normas internacionales no significa que se tienen valores acordes con las fallas reales que pueden ocurrir aquí en este tipo de equipos. Esto no depende del tipo de herramienta de análisis utilizada, sino que aplica para todo tipo de cálculo ejecutado.

El riesgo se calcula para cada uno de los factores y no se promedian, sino que se muestran los cuatro de forma independiente. En el ejemplo de “paro de producción” resulta:

- Personas (seguridad) ... B3 (medio)
- Medio ambiente (contaminación)... B5 (alto)
- Activos (costo-instalación)...B2 (bajo)
- Reputación (imagen externa)...B3 (medio)

Con estos valores, se requiere la colocación de barreras preventivas y correctivas que disminuyan y mitiguen el riesgo.

Se puede observar que la probabilidad siempre es B, ya que sería un error asignar diferentes valores de probabilidad de ocurrencia de la falla para cada eje particular.

**Cuarto paso:** se comienza por incorporar las barreras preventivas que impiden o retrasan la aparición del evento de falla, en este caso “revestimiento” y “protección catódica” (Figura 6).

Gráficamente podemos indicar la eficacia de cada una de estas barreras, aplicamos para ello una codificación numérica:1: Alta; 2: Media; 3: Baja.

Para este caso asumimos como “alta” la eficacia de ambas barreras.

Además podemos indicar información complementaria en cada barrera:

- Responsable de la ejecución de la tarea prevista (ING Proy).
- Numeración indicando la tarea (5.01.01) (5.01.02).

Esto permite en formato gráfico la identificación completa del tema, sin necesidad de recurrir al modo texto.

**Quinto paso:** analizar si las barreras preventivas consideradas tienen algún mecanismo de degradación que inhiban su funcionamiento (*escalation factors*) (Figura 7).

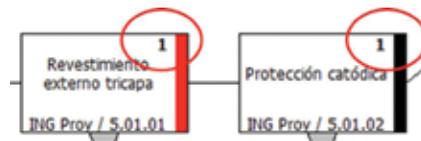


Figura 7.

Existen tres mecanismos de degradación de las barreras. Se requiere, entonces, colocar alguna barrera secundaria para impedir que los mecanismos prosperen y degraden las barreras primarias, en este caso puede ser una instalación o una tarea rutinaria de mantenimiento. Cada una de estas barreras, a su vez, debe ser evaluada en función de su eficacia.

Como criterio general, en estos análisis a todas las tareas de mantenimiento se les asigna una eficacia media (2) porque pueden resultar afectadas por una multiplicidad de factores.

**Sexto paso:** colocar barreras secundarias que impidan el avance de los mecanismos de degradación de las barreras primarias (Figura 8).

Las barreras secundarias reciben el mismo tratamiento que las barreras primarias, se indica efectividad, responsable y tarea asignada.

**Limitación del análisis:** solamente permite la discriminación en un nivel de barreras secundarias sin llegar a barreras terciarias. No se observó como un problema al menos en este caso.

**Séptimo paso:** consiste en repetir la operación para el lado “derecho” del diagrama considerando las barreras correctivas, su evaluación individual, los mecanismos de degradación identificados y la colocación de barreras secundarias con su evaluación individual (Figura 9).

Los pasos, como se pueden observar, se repiten exactamente de la misma forma, simplificando el trabajo de análisis, ya que la mecánica una vez aprendida se repite en todos los casos.

**Octavo paso:** evaluar el riesgo de cada amenaza considerando todas las barreras con su evaluación de

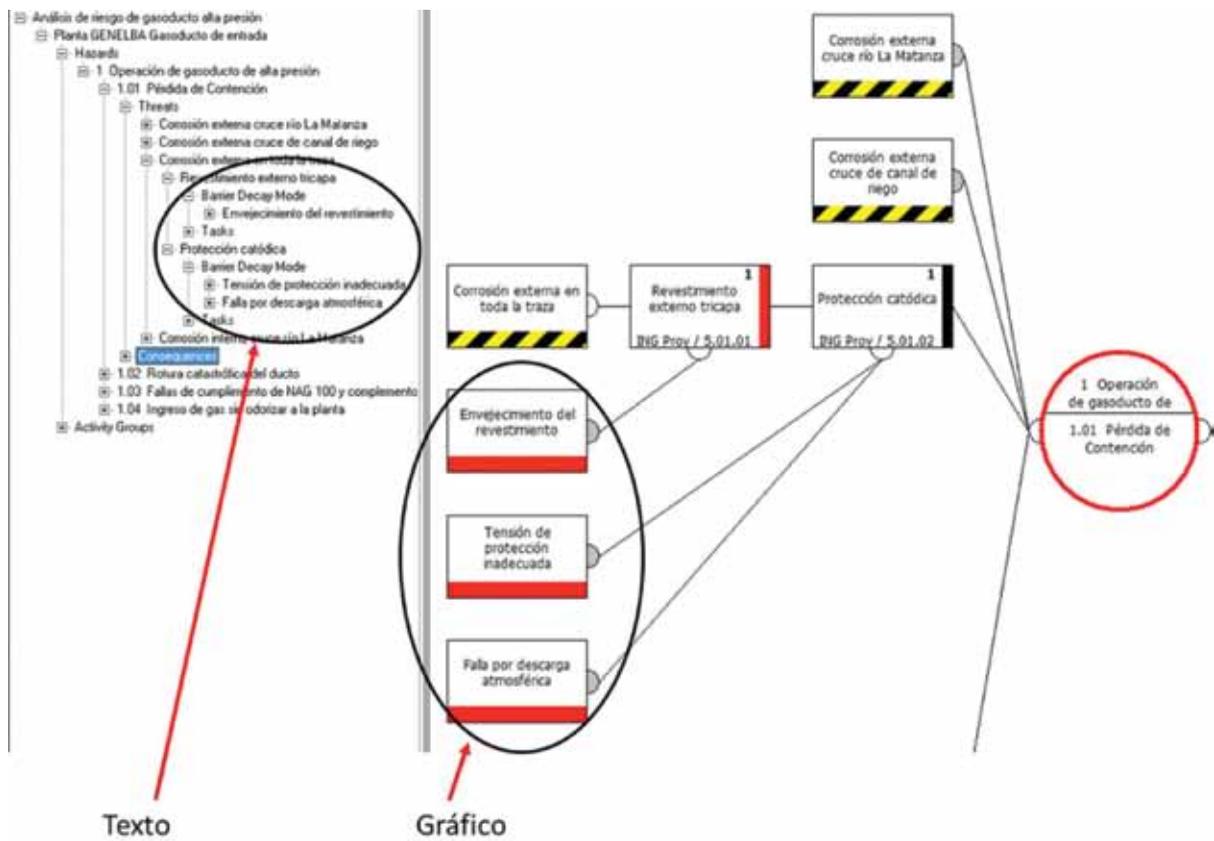


Figura 8.

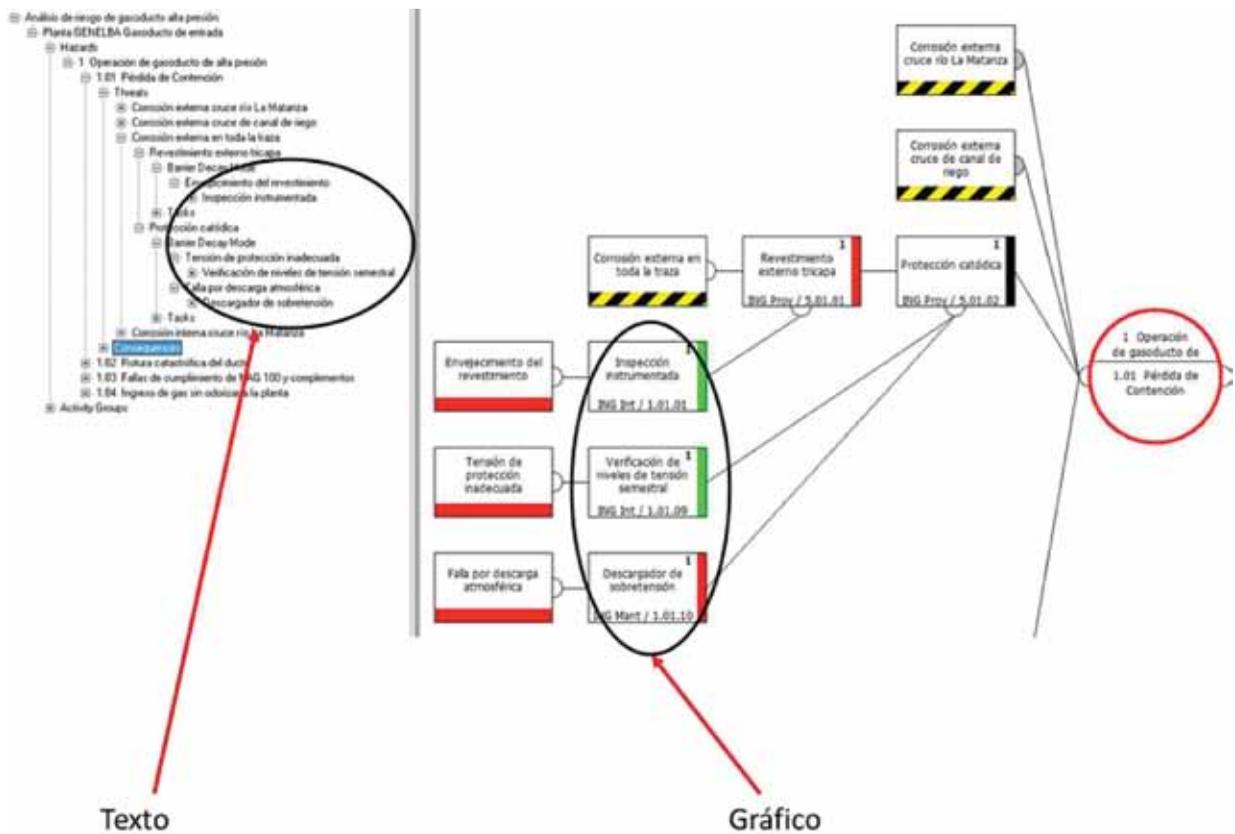


Figura 9.

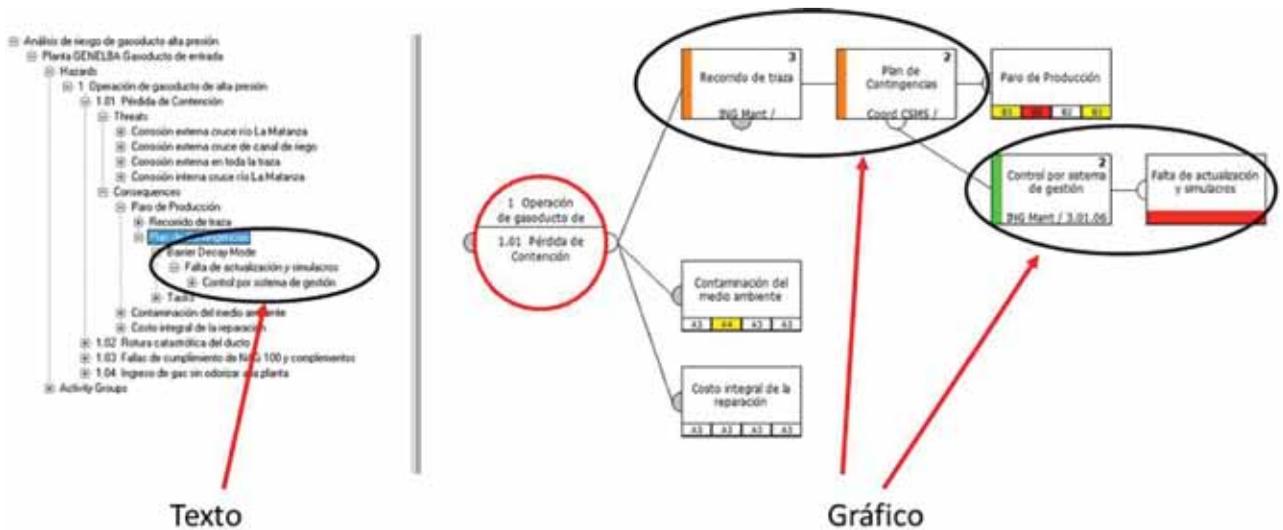


Figura 10.

eficacia, incluso la operación en serie de barreras preventivas y correctivas que actúan sobre un mismo evento.

Limitación del análisis: esta evaluación es subjetiva dependiendo de los participantes y de los valores de probabilidad adoptados (Figura 10).

En esta visión del análisis, desplegado parcialmente, se puede observar rápidamente la visualización del camino a recorrer entre la “amenaza” y la “consecuencia” así como la efectividad de cada una de las barreras colocadas.

El análisis completo requiere la

evaluación de todos los caminos posibles para cada uno de los tramos analizados. Una de las funcionalidades del software es permitir la copia integral de todos estos valores tanto texto como gráficos simplificando el análisis cuando se trata de varios tramos similares como es el caso de ductos donde las amenazas se repiten.

Aquí la conclusión es evidente: no hace falta ser un experto para ver que el camino marcado tiene incorporadas barreras tanto preventivas como correctivas que minimizan el riesgo operativo.

**Comentario adicional:** si bien no figura en la bibliografía, se puede considerar que las barreras preventivas disminuyen la probabilidad y las barreras correctivas, el efecto de la consecuencia. Ambas colaboran en disminuir el riesgo final considerando que el riesgo es  $R = P$  (probabilidad)  $\times$   $C$  (consecuencia) (Figura 11).

En este camino o “escenario” verificado existen dos barreras preventivas y dos correctivas. Cuando no existe ninguna, el riesgo pasa a categoría máxima (rojo), mientras que al colocar barreras (según la efectividad

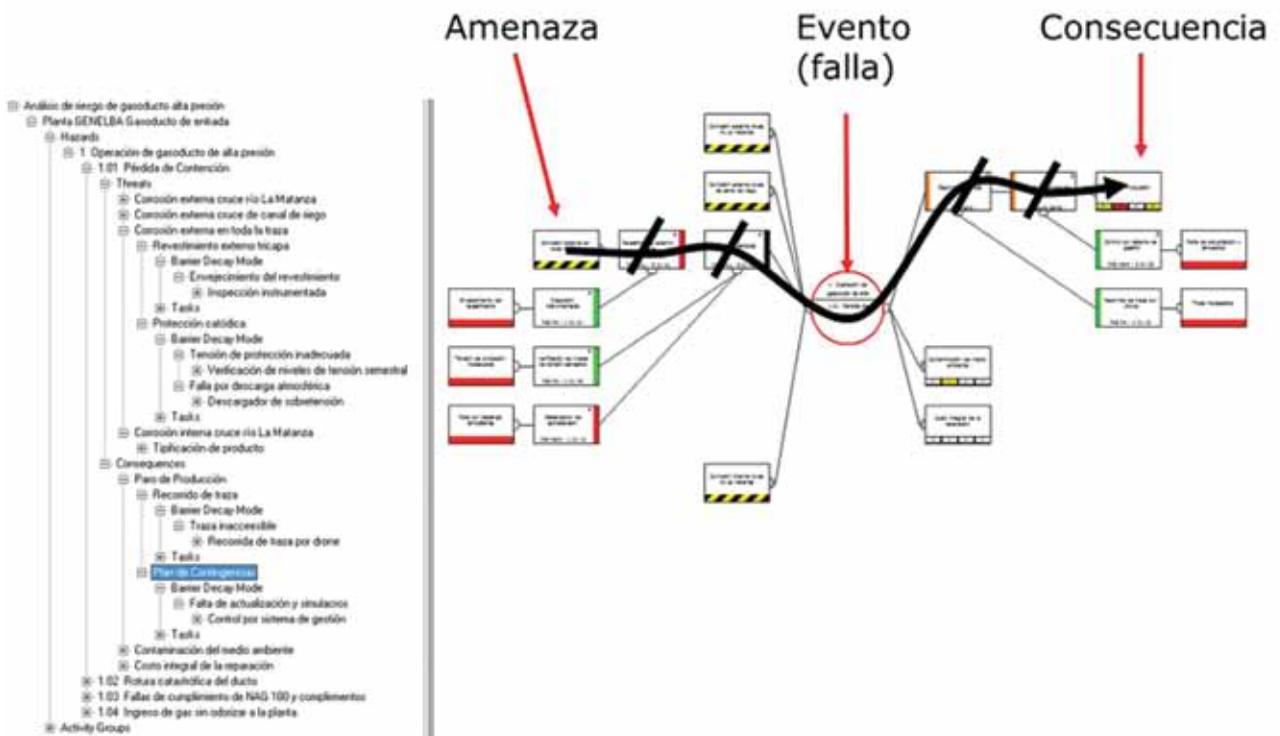


Figura 11.

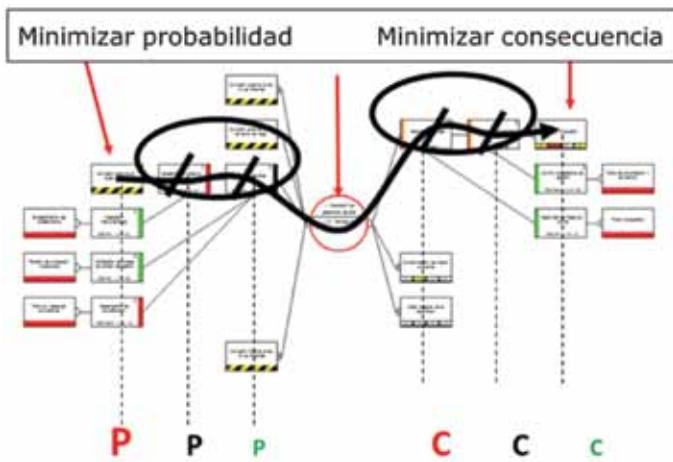


Figura 12.

- Nivel de competencia requerido por el responsable
- Además se pueden agregar campos complementarios con la siguiente información:

- Descripción
- Métodos de verificación de la tarea
- Comentarios generales

**Décimo paso:** emitir planillas de resultados del análisis para su seguimiento posterior.

Disponemos de las siguientes:

- Tablas de referencia.
- Listado de eventos con sus amenazas, consecuencias y barreras primarias y secundarias.
- Listado de tareas genéricas que no se ordenan siguiendo una amenaza en particular.



Figura 13.

Peligro	Evento tope	Consecuencia	Personas	Medio	Costo	Imagen ambiente
1 Operación de gasoducto de alta presión	1.01 Pérdida de Contención	Paro de producción Contaminación del medio ambiente Costo integral de la reparación	B3 A3 A3	B5 A4 A3	B2 A3 A3	B3 A3 A3
	1.02 Rotura catastrófica del ducto	Incendio y explosión, posible pérdida de vidas	B5	B4	B4	B4
	1.03 Fallas de cumplimiento de NAG 100 y complementos	No conformidades a la gestión de integridad Clausura preventiva del ducto y paro de planta	B5 A3	B2 A3	B2 A4	B4 A4
	1.04 Ingreso de gas sin odorizar a la planta	Posible fuga de gas no detectable	A4	A3	A3	A4

Tabla 1.

- Listado de consecuencias con sus riesgos finales evaluados.
- Ejemplo de salida de análisis de riesgos iniciales de un gasoducto (sin considerar ninguna barrera ni preventiva ni correctiva) (Tabla 1).

**Limitación del método:** no permite la comparación de las matrices de riesgos “antes” y “después” de la colocación de barreras, solamente permite una versión final, debido a eso mostramos aquí de un modo “artificial” la versión inicial que después se pierde en el curso del análisis.

Esta primera visualización permite dirigir el esfuerzo del análisis a aquellos riesgos considerados altos o no tolerables para la operación, optimizando el esfuerzo tanto de ingeniería como de mantenimiento posterior. (En principio solamente aquellos evaluados como B5 requerirían obliga-

y el control de degradación), el riesgo disminuye proporcionalmente.

**Noveno paso:** preparar un plan con las tareas identificadas y los responsables de su ejecución y la periodicidad si corresponde (tareas cíclicas).

Por ejemplo, si tomamos de modelo una tarea (pase de ILI), se requiere la siguiente información:

- Código
- Descripción de la actividad (nome)
- Frecuencia
- Responsable

Peligro	Evento tope	Consecuencia	Personas	Medio	Costo	Imagen ambiente
1 Operación de gasoducto de alta presión	1.01 Pérdida de Contención	Paro de Producción	B2	B3	B2	B3
		Contaminación del medio ambiente	A3	A3	A3	A3
	1.02 Rotura catastrófica del ducto	Costo integral de la reparación	A3	A3	A3	A3
		Incendio y explosión, posible pérdida de vidas	B2	B2	B2	B2
1.03 Fallas de cumplimiento de NAG 100 y complementos	No conformidades a la gestión de integridad	B2	B2	B2	B3	
	Clausura preventiva del ducto y paro de planta	A3	A3	A3	A3	
1.04 Ingreso de gas sin odorizar a la planta	Possible fuga de gas no detectable	A3	A3	A3	A3	

Tabla 2.

toriamente la colocación de barreras para su mitigación).

**Versión final como ejemplo (única disponible al final del análisis).** No se muestran los resultados reales debido a que es información confidencial de la compañía (Tabla 2).

En esta evaluación final aparecen todas las subjetividades del análisis que no son propiedad de este método sino de cualquiera. Las incertidumbres permanecen en los siguientes aspectos:

- Robabilidad de ocurrencia del evento.
- Consecuencia real de la ocurrencia del evento.
- Listado de amenazas analizadas compatibles con la realidad.
- Efectividad real de cada barrera incorporada (primarias y secundarias).
- Evaluación de los métodos de degradación de las barreras primarias correcto.

Para minimizar los errores en esta evaluación recurrimos a:

- Historial real de fallas en la compañía, ya que tenemos bastante experiencia con algunos miles de km de ductos con este servicio, incluso en diferentes países de Latinoamérica.
- Historial de fallas de empresas de la industria a los que tenemos acceso, si bien esta información es muy restringida en la Argentina.
- Historial de fallas de otros países, incluso la consulta con páginas como HSE, CSB, NTSB y PHMSA. (informes de fallas tanto en plantas, como en líneas externas).

- Trabajo en equipo multidisciplinario para evitar opiniones sesgadas.

**Limitación del método:** no permite la comparación de las matrices de riesgos “antes” y “después” de la colocación de barreras, solamente permite una versión final, debido a eso mostramos de un modo “artificial” la versión inicial que después se pierde en el curso del análisis.

## Conclusión

La aplicación de esta herramienta de análisis nos permitió atender los requisitos tanto legales como internos de análisis de riesgo en gasoductos NAG100, permitiendo adicionalmente considerar aspectos de seguridad de procesos en un mismo trabajo.

Las expectativas enumeradas se cumplieron dentro de un rango aceptable de solución, así como fueron identificadas algunas restricciones o limitaciones del método que no afectaron la solución final.

Las principales ventajas de su aplicación fueron las siguientes:

- Visualización gráfica inmediata del análisis efectuado en modo texto que es una muy buena herramienta de control y comunicación con todo el equipo.
- Análisis de cada uno de los escenarios posibles de falla con identificación inmediata de las barreras preventivas y/o correctivas disponibles.
- Factibilidad de evaluación de consecuencias ante la indisponibilidad de alguna de las barreras y su impacto en el riesgo final.
- Identificación del nivel de riesgo

para cada evento considerando cada amenaza de falla de forma individual.

- Fácil actualización en caso de modificaciones en las condiciones de entorno.
- Salida simultánea del plan de inspección y/o mantenimiento con la asignación de responsables por la ejecución de tareas.

También a esta herramienta se utiliza en otros tipos de equipos (mecánicos, instrumentos), ya que permite lograr una rápida familiaridad con su uso salvando la dificultad del tiempo transcurrido entre análisis de riesgos de ductos (puede ser tan largo como 5 años).

Algunas de las desventajas conocidas, que se comprobaron en la práctica son las siguientes:

- Dificultad para alinear estos resultados con un análisis cuantitativo.
- Requerir conocimiento específico de cada sistema y de cada modo de falla (esto en realidad no es privativo de este método en particular).
- El software utilizado no permitió la comparación de riesgo inicial y riesgo final.
- La efectividad de cada barrera es un valor subjetivo que impacta en el valor del riesgo final. ■

## Bibliografía

- Norma NAG 100 y complementarias publicadas por el ENARGAS Norma.
- Norma ASME B31.8 “Gas Transmission and Distribution Piping Systems”.
- Resolución 347 de la provincia de Neuquén.
- La historia de Bow Tie – CGE *Risk Management Solutions*.
- Practical HSE Risk Management - *An Introduction to the Bow-tie Method Presentation to the International Conference for Achieving Health & Safety Best Practice in Construction*, Dubai, UAE, 26th- 27th February, 2007.
- BOW TIE: <http://www.caa.co.uk/Safety-Initiatives-and-Resources>.
- Bow Tie Analysis: *Federal Aviation Administration*.
- Bow Tie: *The next generation risk management tool-RPSGROUP Australia*.