

ANALISIS DE RIESGOS DE GASODUCTOS NAG 100

APLICANDO METODOLOGIA BOW TIE

Sebastián Monetti--GENELBA

Paul Rodríguez Jordán-Pampa Energía SA-E&P

El presente trabajo explicita la utilización 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 5 ductos: uno de alimentación de gas a la Central Termoeléctrica GENELBA y 4 de producción en la cuenca neuquina que vinculan los yacimientos El Mangrullo, Sierra Chata, Aguada de la Arena y Río Neuquén.

Esta metodología tiene un principio gráfico y definición de las barreras tanto preventivas como correctivas de fallas, identificando de manera explícita los mecanismos de degradación de cada una de ellas y las barreras secundarias que aumentan su confiabilidad y supervivencia en caso de falla. Para cada consecuencia se evalúan los riesgos en 4 ejes principales:

- Seguridad de las personas
- Afectación del Medio Ambiente
- Costo incurrido
- Imagen de la empresa

Ya disponíamos de experiencias anteriores en aplicaciones onshore y offshore en equipos de mayor complejidad, lo que afirmaba su potencial para este tipo de análisis (cualitativo).

Como ventajas obtenidas podemos mencionar:

- Revisión completa de modos de falla, aplicando inicialmente las listadas en la norma B31.8 complementadas con el histórico real (detallado) de las operaciones.
- Formato visual que permite la comunicación con otras personas y áreas no habituadas a análisis de riesgos.
- Evaluación de cada riesgo y eficacia de cada barrera identificada.
- Listado definitivo de tareas de inspección y mantenimiento con su frecuencia y método de evaluación.
- Evaluación de la efectividad de cada una de las tareas de inspección y mantenimiento para impedir/mitigar el evento de falla.

- Información para otros análisis como FMEA con el cual tiene un fuerte solapamiento y permite su rápida ejecución.
- Identificación y definición del nivel de calificación/certificación de cada persona que interviene en el proceso.
- Facilidad de actualización de riesgos sobre análisis anteriores de forma gráfica y sin complicaciones de aplicación y/o disponibilidad de software complicados.

Conclusión

La aplicación de esta metodología utilizando un software muy simple de utilizar, con un formato gráfico muy amigable, combinado esto con el Programa de Gestión de Integridad, las bases de datos en SAP y en GIS permitió la evaluación muy rápida y confiable de los riesgos de estos equipos (críticos para todas las operaciones), sentando una base firme para todo el ciclo de mejora posterior.

1. INTRODUCCIÓN

- a. General**
- b. Definición de alcance**
- c. Expectativas del análisis vs Resultados obtenidos**
- d. Antecedentes**
- e. Conformación del equipo de trabajo**
- f. Normas aplicables / legislación aplicable**
- g. Relevamiento de información disponible de los ductos**
- h. Descripción del método utilizado (BOW TIE)**

2. DESARROLLO DEL ANÁLISIS

3. CONCLUSIÓN

4. BIBLIOGRAFIA

5. CV de los autores

1-INTRODUCCIÓN

a-General

El presente 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 evaluando las barreras tanto preventivas como correctivas de los eventos de falla analizados. En el desarrollo del mismo se enumerarán otras ventajas observadas así como las limitaciones del mismo.

b-Definición de alcance

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 especificación de venta. (Esta aclaración es válida porque operamos otros gasoductos con gas de yacimiento que contienen contaminantes como SH₂, CO₂, agua, etc. que no fueron seleccionados en este caso).

c-Expectativas del análisis

Al inicio de la aplicación del análisis se fijaron una serie de 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 experiencia acumulada en las operaciones.
3. Dividir el ducto en tramos para su análisis
4. Factibilidad de evaluar los riesgos en formato de matriz cualitativa de un modo simple y que permita compartir la información.
5. Visualización de elementos de seguridad y control de los riesgos identificados
6. Identificación de riesgos que pudieran requerir un cálculo cuantitativo posterior.
7. Mejora en la coordinación y aplicación de resultados de Integridad con Producción e Ingeniería.
8. Posibilitar/facilitar la integración de este análisis con otros como HAZOP preexistentes o futuros sobre las instalaciones.
9. Mejoras en la documentación de los análisis y posibilidad de incorporar cambios en el futuro.
10. Compartir experiencias con otras empresas del grupo al ejecutar estos análisis de forma conjunta (evaluaciones cruzadas).
11. Evaluar el riesgo para 4 ejes principales: seguridad de las personas, impacto en el medio ambiente, costo e imagen de la compañía.
12. Identificar las tareas críticas a ser realizadas posteriormente a 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 simplificando el análisis y potenciando sus resultados.

La visión de “barreras” que se obtiene con este método es lo que permite esta integración y 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.

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 esto 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 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 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 4 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 a ser realizadas posteriormente a la puesta en servicio.	Cumple, quedan registradas todas y cada una de las tareas que tienen relación con las barreras tanto preventivas como correctivas.

d-Antecedentes

Este tipo de análisis (BOW TIE) lo venimos utilizando desde hace unos 7 años en diferentes situaciones, generalmente orientados a seguridad de procesos, con lo que la herramienta en sí no es una novedad sino su aplicación a ductos.

Como ejemplo tenemos aplicaciones anteriores en análisis de riesgos de:

- 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

e-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.

f-Normas aplicables / legislación aplicable

De las siguientes Normas y Legislación de cumplimiento obligatorio, se focalizó principalmente en algunos aspectos de cada una:

1. *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)

2. *Norma ASME B31.8*

Definición y análisis de las denominadas “amenazas” para su evaluación

3. *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 visualización del área de impacto de cada gasoducto (permite identificar invasiones a la traza).

g-Relevamiento de información disponible de los ductos

Como primer paso del análisis, se recopiló toda la información disponible referente a:

- 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 tal como construcción de rutas, mantenimiento de caminos, tendido de nuevos ductos, 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 anteriores: 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 provisionales pendientes de ejecución de las definitivas.

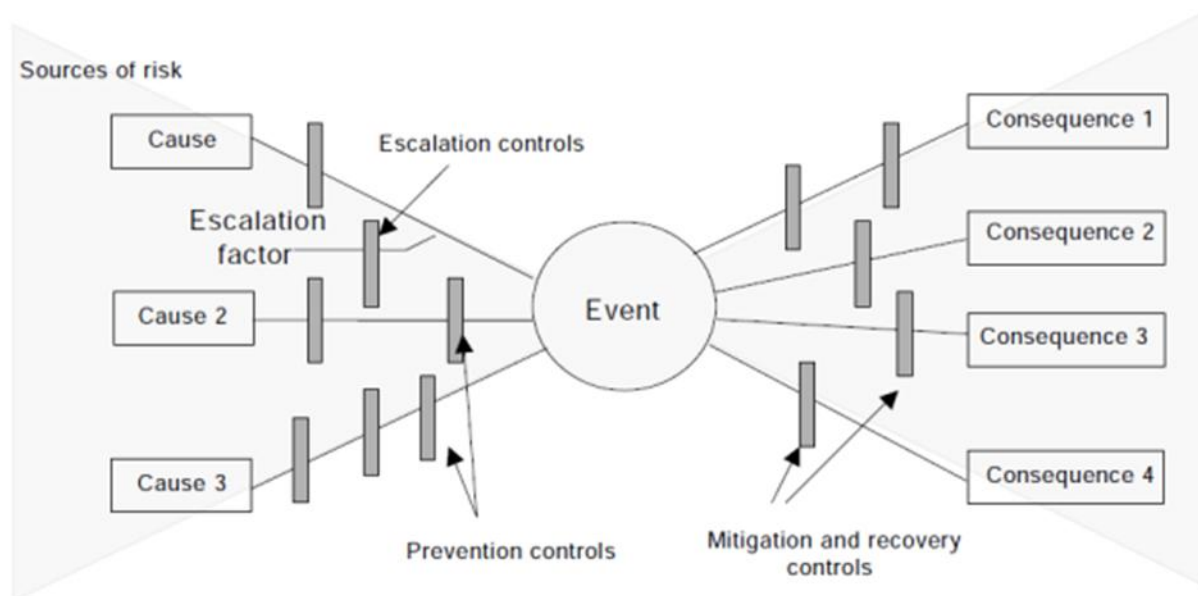
h-Descripción del método utilizado (BOW TIE)

Este método de análisis se originó en los árboles de falla (FTA) y análisis de riesgos HAZAN/HAZOP, logrando 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) y la forma de controlar la degradación de las barreras y sus 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 como:



- 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”

Cada una de estas **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.

- Impresión de pantalla de datos requeridos como carga previa en el software:

Personnel
Frequencies
Competancies
Control Types
Effectiveness
Activity Categories
Risk Matrix

Los seis primeros son datos requeridos en los sucesivos pasos, es preferible disponer de los mismos de forma anticipada para evitar continuas idas y vueltas al ser requerida la información.

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.

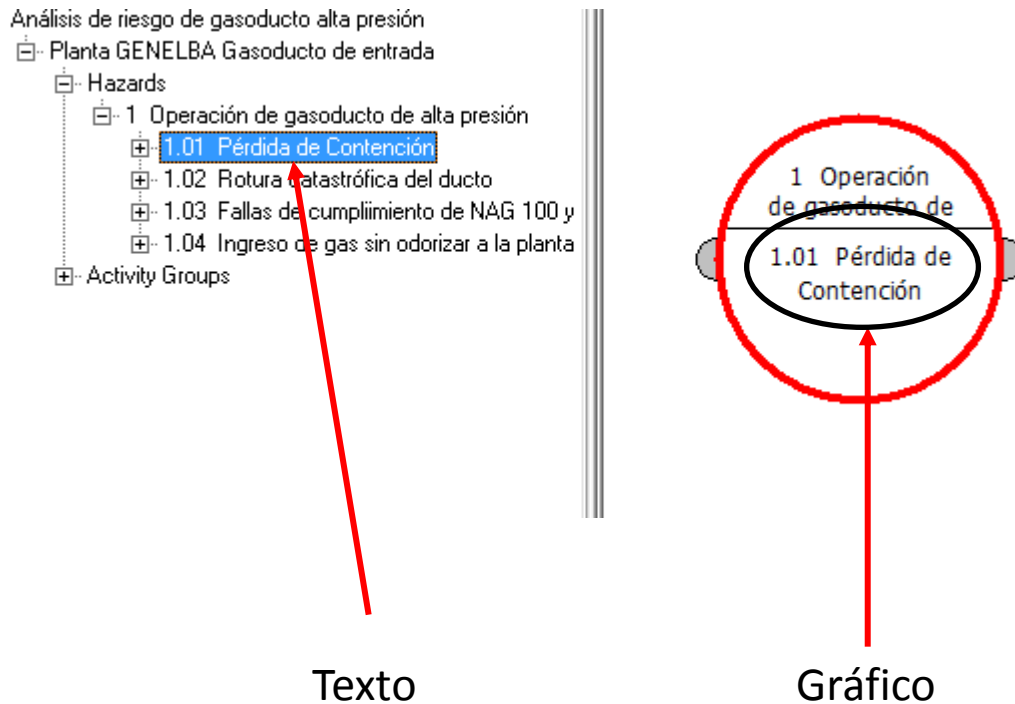
- Impresión de pantalla de los reportes pre-establecidos en el software

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 evaluated risks
Print tasks not linked to barriers

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

2-DESARROLLO DEL ANÁLISIS

Primer paso: Aplicado a este caso particular, el gráfico toma este formato:



Contenido del gráfico anterior:

PELIGRO: Acto de operar un gasoducto de alta presión, es el negocio en sí mismo.

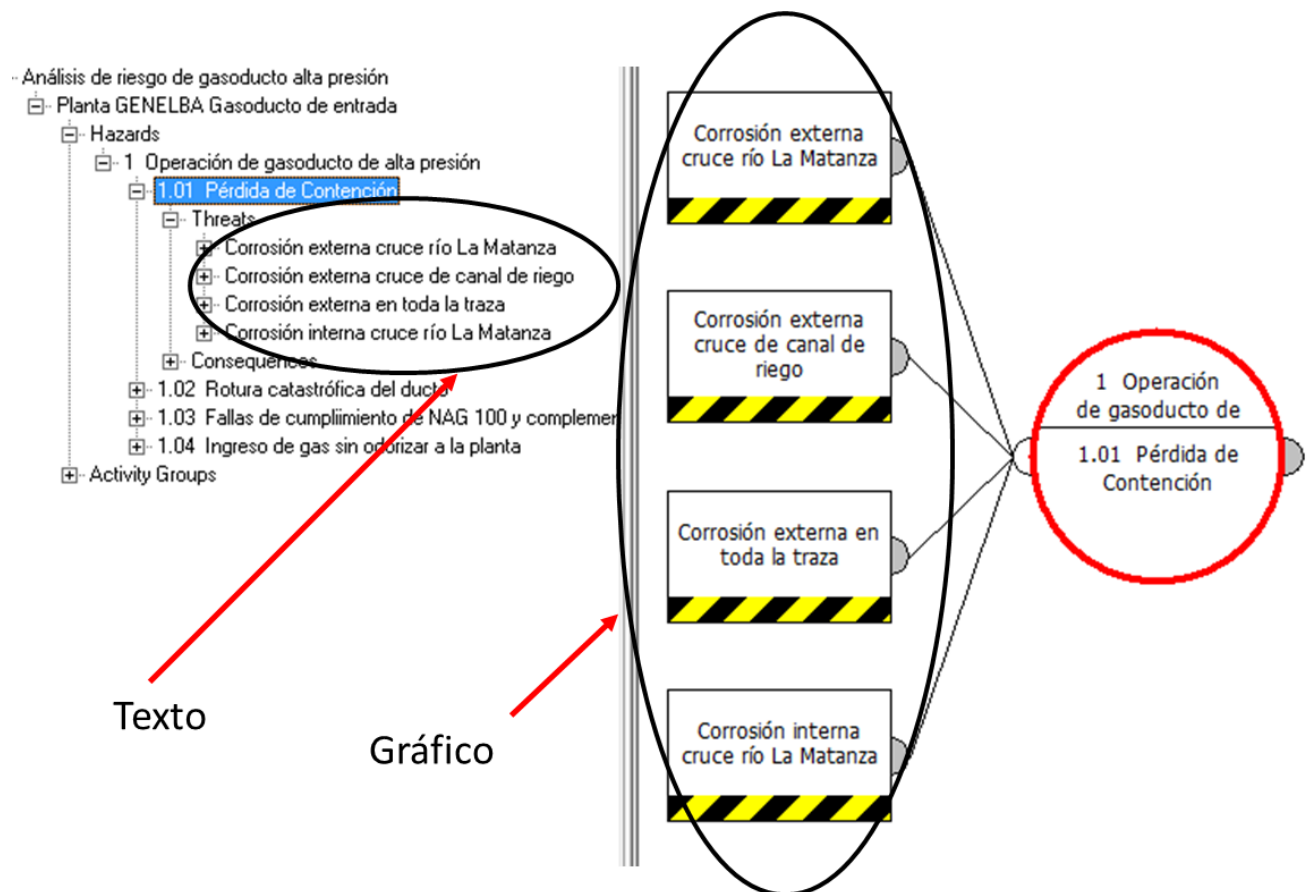
EVENTOS: (simplificando los eventos son las fallas cuando ocurren)

- Pérdida de contención
- Rotura catastrófica del ducto
- Fallas de cumplimiento de NAG 100
- Ingreso de gas sin odorizar a la planta

ACTIVITY GROUPS: Son datos varios necesarios para completar el análisis de más arriba, forma parte de datos fijos, codificaciones, etc. es solamente información requerida. Se necesita completar esto antes de comenzar el análisis aunque después puede ser modificada/completada.

Segundo paso: Como ejemplo vamos a continuar 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):



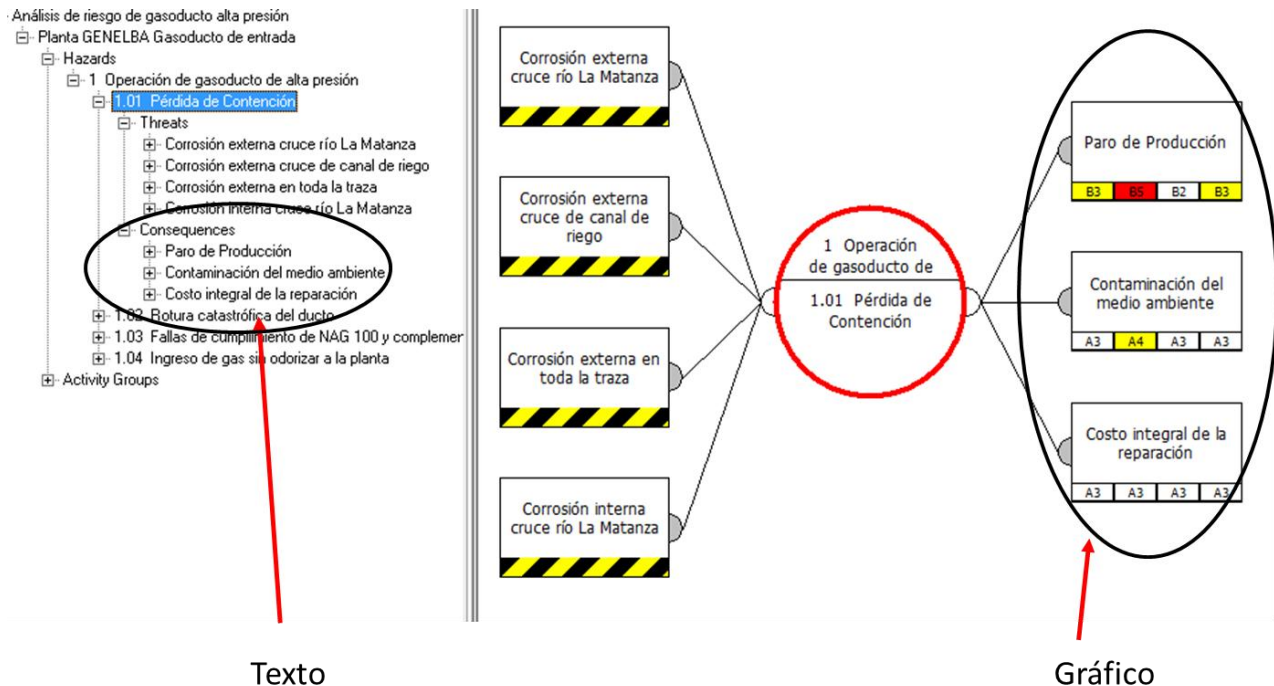
Este software en particular permite trabajar 100% en modo texto y completa el gráfico en forma automática, o también trabajar 100% en modo gráfico y completa el modo texto en automático.

Contenido complementario del gráfico anterior:

AMENAZAS:

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

Tercer paso: Continuando con el caso GENELBA se completan las “consecuencias” posibles de esta falla/evento:



Contenido complementario del gráfico anterior:

CONSECUENCIAS

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

Observando el gráfico podemos 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 va a producir 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 permitan impedir o mitigar las consecuencias, esto finalmente deriva en un riesgo de operación.

Aclaraciones sobre este 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 tramos 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 cuando lo comparamos con el costo total de la instalación que es el valor de referencia adoptado.

5-En el gráfico en los cuadros de Consecuencia puede observarse el valor de riesgo asumido como “inicial” sin ninguna barrera ya sea preventiva como correctiva.

Evaluación del riesgo

La evaluación de riesgo considera como es habitual probabilidad vs. consecuencia de acuerdo con el siguiente formato:

People		Extremely unlikely (1.0E-7)	Very unlikely (1.0E-5)	Unlikely (1.0E-3)	Probable (1.0E-1)	Frequent (10)
Manage for continuous improvement	Many fatalities (5 or more)	A5	B5	C5	D5	E5
Incorporate risk reduction measures (ALARP region)	Single or few fatalities	A4	B4	C4	D4	E4
Blue	Single or few serious injuries	A3	B3	C3	D3	E3
Intolerable	Loss time accident	A2	B2	C2	D2	E2
	Minor injury	A1	B1	C1	D1	E1
	No injury					

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

En las líneas tenemos 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)

Principal limitación del método:

La evaluación de la probabilidad tiene un elevado valor de incertidumbre, aún en el caso de 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 promedia sino que se muestran los cuatro de forma independiente. En el ejemplo de Paro de Producción resulta en:

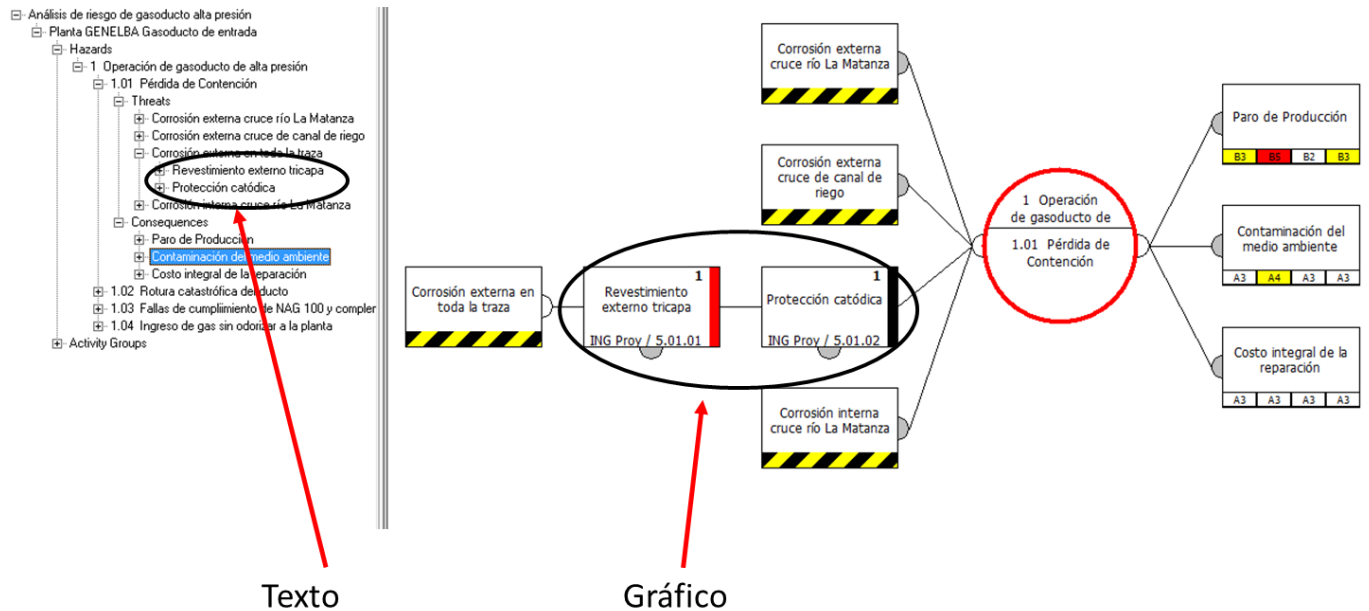
- Personas (Seguridad).....B3 (medio)
- Medio ambiente (Contaminación).....B5 (alto)
- Activos (Costo-instalación).....B2 (bajo)
- Reputación (Imagen externa).....B3 (medio)

Con estos valores, se requiere la colocación de barreras preventivas y correctivas que lo 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”:



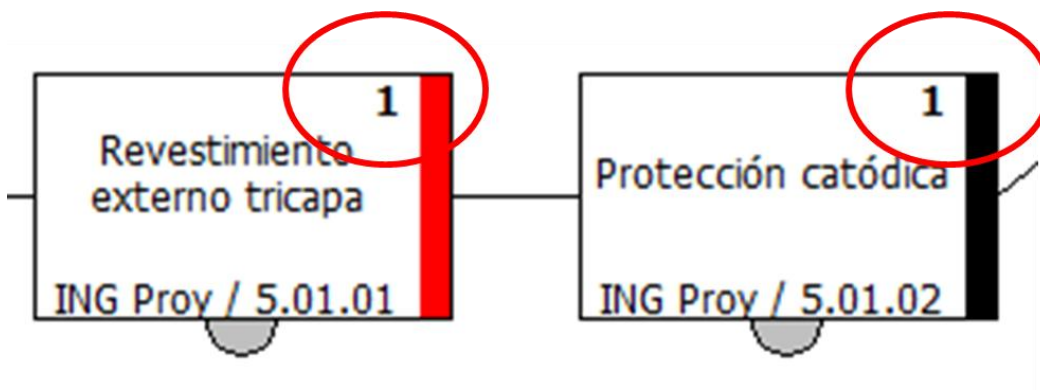
Gráficamente podemos indicar la eficacia de cada una de estas barreras, aplicamos aquí una codificación numérica:

1: Alta

2: Media

3: Baja

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

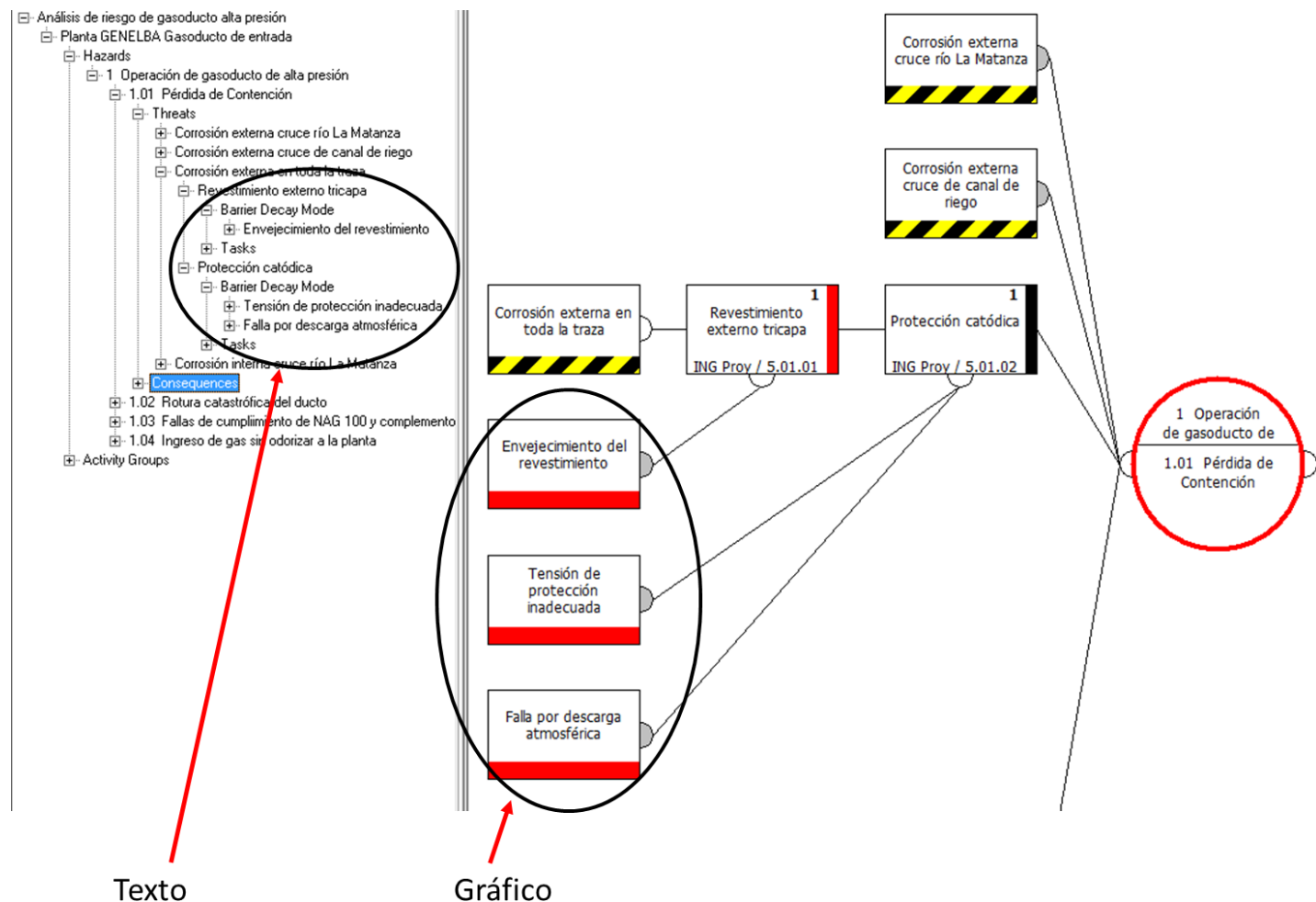


Además podemos indicar información complementaria en cada barrera:

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

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

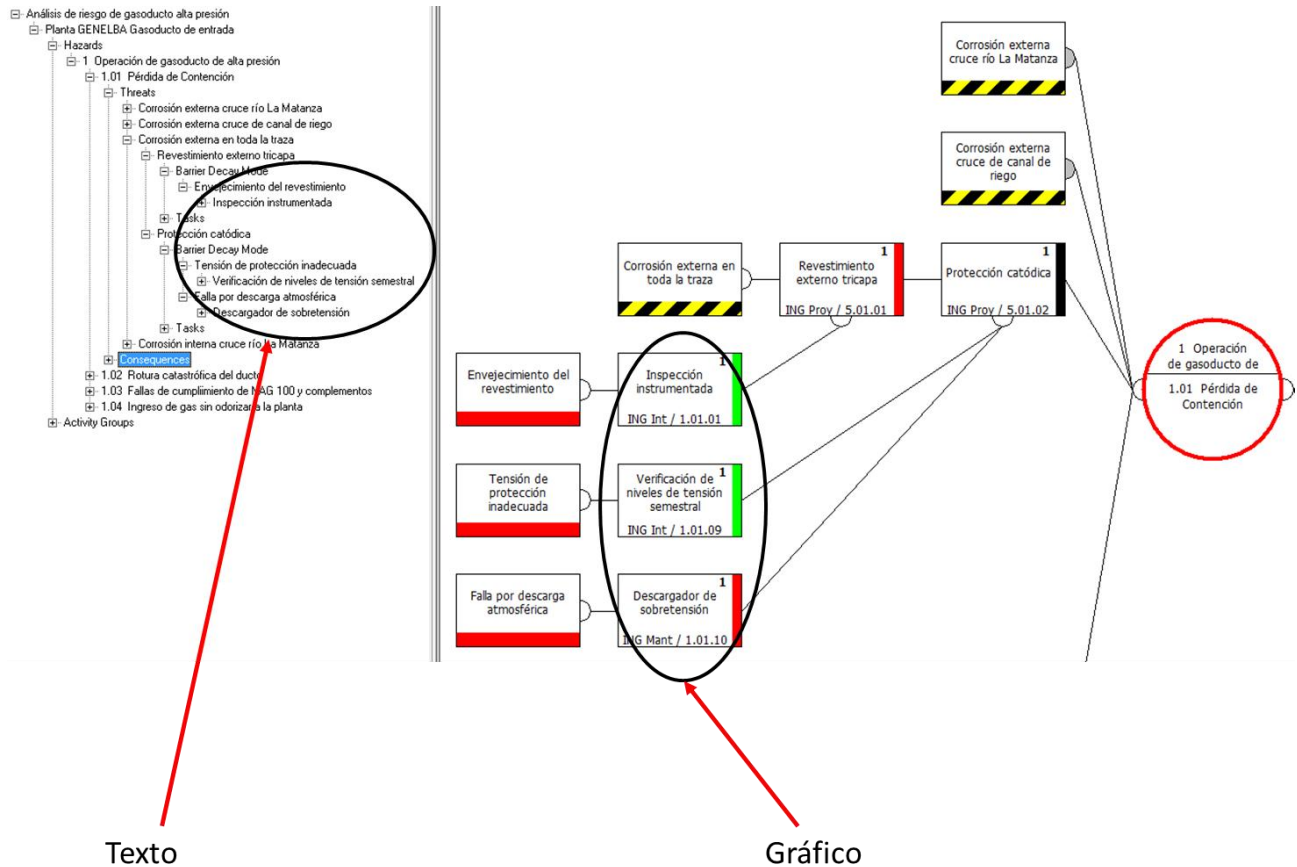
Quinto paso: analizar si las barreras preventivas consideradas hasta aquí tienen algún mecanismo de degradación que inhiban su funcionamiento. (escalation factors).



Tenemos entonces 3 mecanismos de degradación de las barreras, se requiere entonces colocar alguna barrera secundaria para impedir que estos prosperen y degraden las barreras primarias, en este caso puede ser tanto una instalación como una tarea rutinaria de mantenimiento. Cada una de estas barreras a su vez debe ser evaluada en función de su eficacia.

Como criterio general, todas las tareas de mantenimiento tienen asignada en estos análisis una eficacia media (2) porque pueden resultar afectadas por una multiplicidad de factores

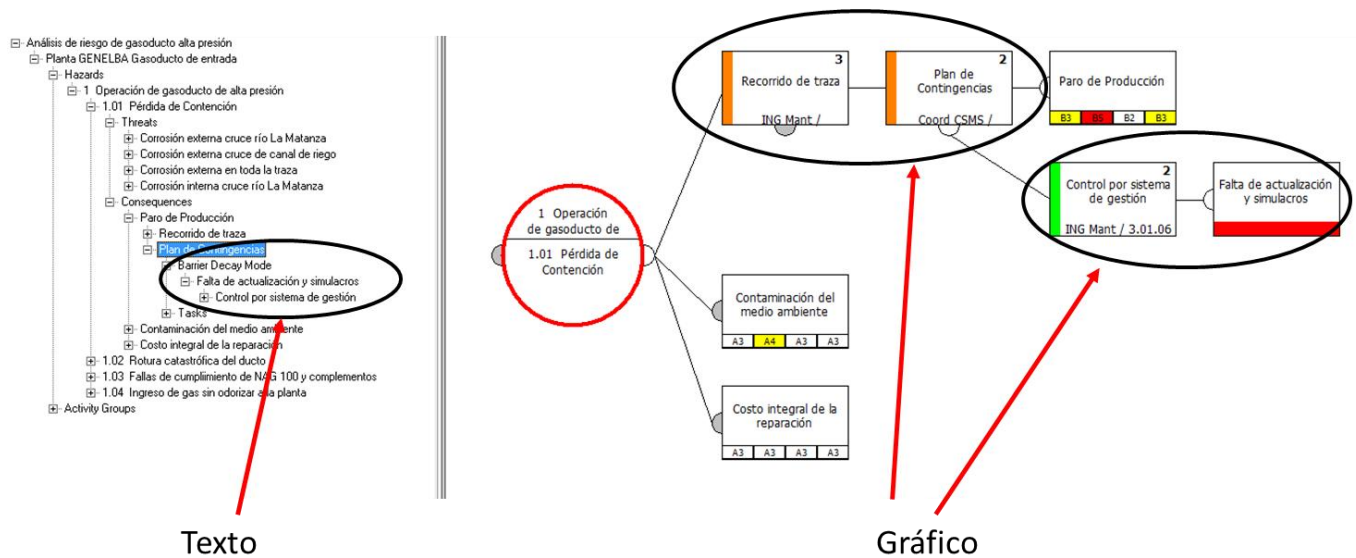
Sexto paso: Colocar barreras secundarias que impidan el avance de los mecanismos de degradación de las barreras primarias:



El tratamiento de estas barreras secundarias es el mismo que para las barreras primarias indicando efectividad de la misma, responsable y tarea asignada.

Limitación del análisis: Solamente permite la discriminación en un nivel de barreras secundarias sin llegar a barreras terciarias, esto realmente no se observó como problema al menos en este caso.

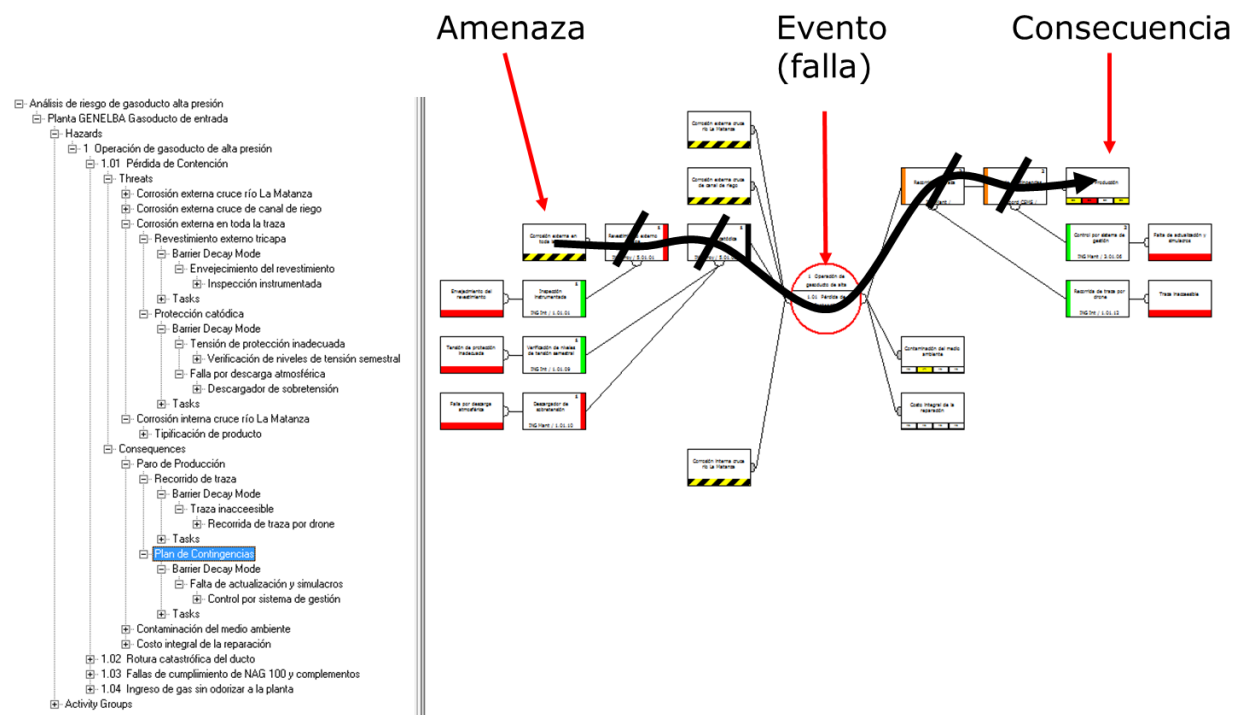
Séptimo paso: En realidad consiste en repetir la operación para el lado “derecho” del diagrama considerando las barreras correctivas, su evaluación individual, los mecanismos de degradación identificados y la colocación de barreras secundarias con su evaluación individual, para este caso resultó en:



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

Octavo paso: Evaluar el riesgo de cada amenaza considerando ahora todas las barreras con su evaluación de eficacia, incluso considerando la operación en serie de barreras preventivas y correctivas actuando sobre un mismo evento.

Limitación del análisis: Esta evaluación continúa siendo subjetiva dependiendo de los participantes y de los valores de probabilidad adoptados.

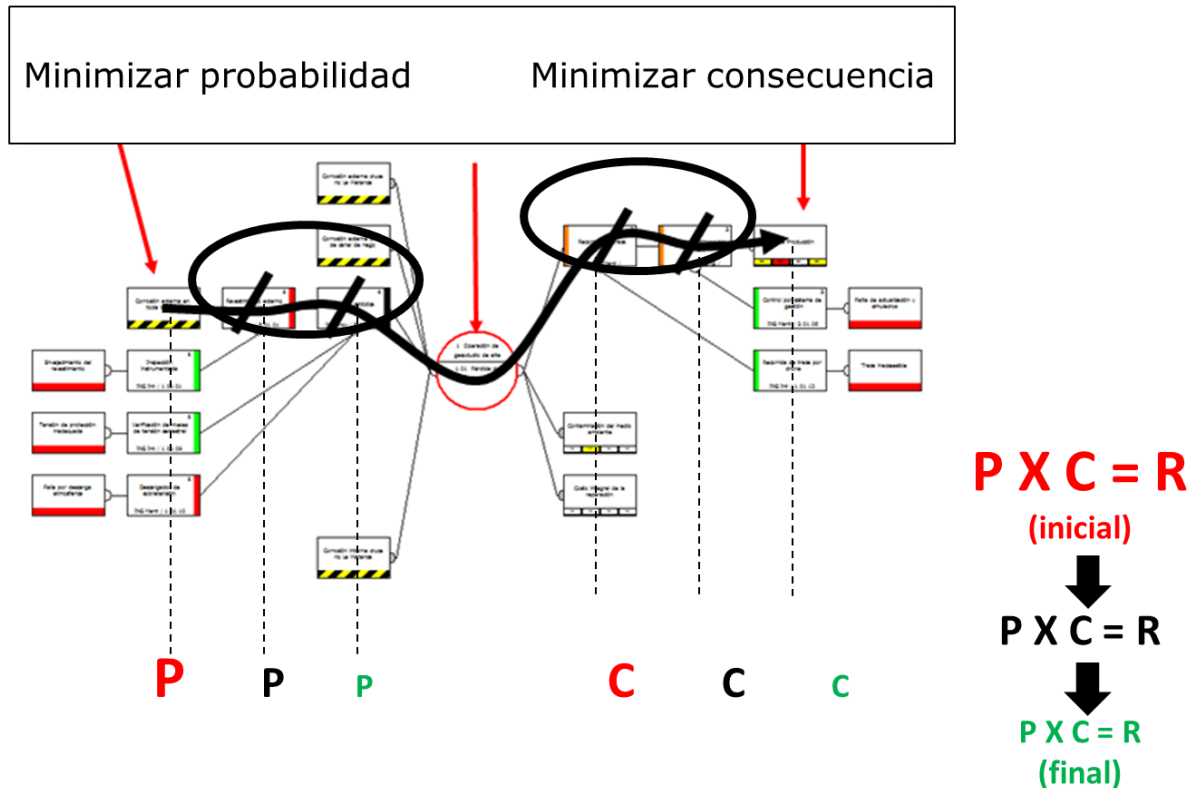


En esta visión del análisis, desplegado parcialmente, se puede observar rápidamente la visualización del camino a recorrer entre la “amenaza” y la “consecuencia” así como la efectividad de cada una de las barreras colocadas.

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 de forma explícita, se puede considerar que las barreras preventivas disminuyen la probabilidad y las barreras correctivas el efecto de la consecuencia, colaborando ambas en disminuir el riesgo final considerando que el riesgo es $R = P$ (probabilidad) $\times$ C (consecuencia). El siguiente gráfico tomado del anterior explicita un poco mejor este resultado:



En este camino o “escenario” verificado, existen 2 barreras preventivas y 2 correctivas, cuando no existe ninguna el riesgo pasa a categoría máxima (rojo), mientras que al colocar barreras (dependiendo de su efectividad y control de degradación) el riesgo disminuye proporcionalmente.

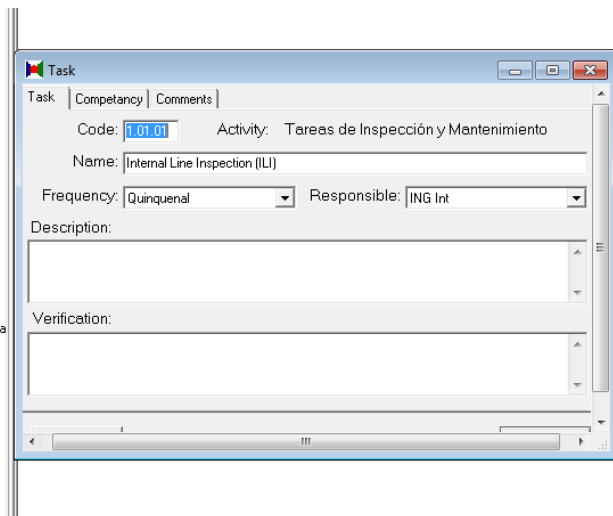
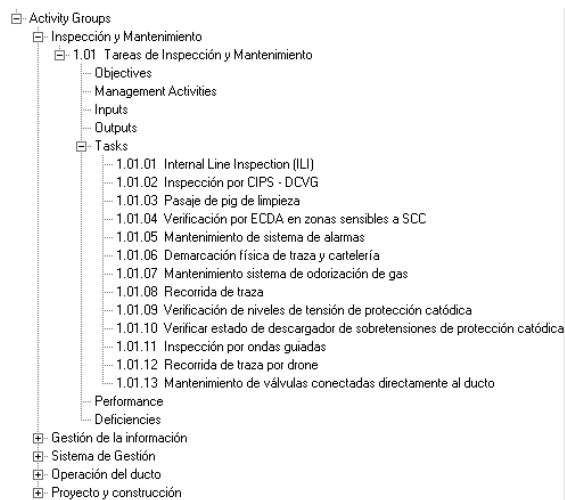
Noveno paso: Preparar un plan donde queden identificadas las tareas y los responsables por su ejecución así como la periodicidad si corresponde (tareas cíclicas).

Tomando como ejemplo una tarea (pasaje de ILI), se requiere la siguiente información:

- Código
- Descripción de la actividad (nome)
- Frecuencia
- Responsable
- Nivel de competencia requerido por el responsable

Además se pueden agregar campos complementarios con información de:

- 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 están listadas correspondiente a ninguna amenaza particular.
- 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):

Peligro	Evento tope	Consecuencia	Personas	Medio ambiente	Costo	Imagen
1 Operación de gasoducto de alta presión	1.01 Pérdida de Contención	Paro de Producción	B3	B5	B2	B3
		Contaminación del medio ambiente	A3	A4	A3	A3
		Costo integral de la reparación	A3	A3	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	B5	B2	B2	B4
		Clausura preventiva del ducto y paro de planta	A3	A3	A4	A4
	1.04 Ingreso de gas sin odorizar a la planta	Posible fuga de gas no detectable	A4	A3	A3	A4

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 obligatoriamente la colocación de barreras para su mitigación)

Versión final como ejemplo (única disponible al final del análisis).

(No se muestran los resultados reales por ser información confidencial de la compañía)

Peligro	Evento tope	Consecuencia	Personas	Medio ambiente	Costo	Imagen
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
		Costo integral de la reparación	A3	A3	A3	A3
	1.02 Rotura catastrófica del ducto	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	Posible fuga de gas no detectable	A3	A3	A3	A3

En esta evaluación final es donde aparecen todas las subjetividades del análisis que no son propiedad de este método sino de cualquiera, permanecen las incertidumbres en:

- Probabilidad 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 Argentina.
- Historial de fallas de otros países, incluso la consulta con páginas como HSE, CSB, NTSB y PHMSA. (reportes 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 aquí de un modo “artificial” la versión inicial que después se pierde en el curso del análisis.

3-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 más arriba 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:

- 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 la estamos utilizando para otros tipos de equipos (mecánicos, instrumentos) 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 y que se comprobaron en la práctica son:

- Dificultad para alinear estos resultados con un análisis cuantitativo.
- Requiere 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.

4-BIBLIOGRAFIA

- **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

5-CV de los autores

Sebastián Monetti

Título y lugar de estudio: Ingeniero Eléctrico -Universidad Nacional de La Plata; Postgrado Administración Mercado Eléctrico y del Gas - ITBA

Trayectoria: Central Termoeléctrica Genelba (desde 02.07.01 a la actualidad) Pampa Argentina S.A.

Planta de 830MW, compuesto por un Ciclo Combinado tecnología SIEMENS (2GT + ST) de 660MW y una TG a ciclo abierto de 170MW.

Responsable Técnico ante ENARGAS de la Gestión de Gasoductos de Planta NAG100,
Responsable del Gerenciamiento Ambiental de la Planta según ISO-14001 ,
Responsable de la implementación, certificación y mantenimiento de la norma ISO 50001:2011
Gestión de la Energía

Cargo actual en la empresa: Desde 02.12.2010 a la actualidad, Gerente de Operaciones de la Central Genelba

Paúl Rodríguez Jordán

Título y lugar de estudio: Ingeniero Mecánico-Universidad Nacional de la Plata

Trayectoria: 40 años de experiencia en la industria petrolera, con inicio en Refinación (Inspector de Equipos en ESSO Campana), continuando en la construcción de varias plantas de producción de petróleo, esferas de gas y plantas petroquímicas (Cerri, Isobutenos, Petroquímica Río III, Piedras Coloradas, Señal Picada, NAVIPAR, Refinerías San Lorenzo/Cuyo). A partir de 1987 en Pérez Companc (PETROBRAS-PAMPA ENERGIA), en yacimientos de Mendoza, Neuquén y Venezuela. Desarrollo de sistemas de gestión de activos en todas las operaciones de E&P, sistema SAP-PM, en Ingeniería de Mantenimiento en Brasil desde 2008 hasta 2011. Desde 2012 a la fecha como Consultor Técnico en Argentina. Autor de varios libros de la especialidad.

Cargo actual en la empresa: Consultor Técnico