



**La herramienta de análisis de riesgos moderna, rápida
y fácil de usar**

Características avanzadas

El uso de LOPA para Cuantificar un análisis BowTie

BowTie Pro™
Westhill Business Centre
Arnhall Business Park
Westhill, Aberdeenshire,
AB32 6UF, UK

Tel: +44 (0) 1224 51 50 94

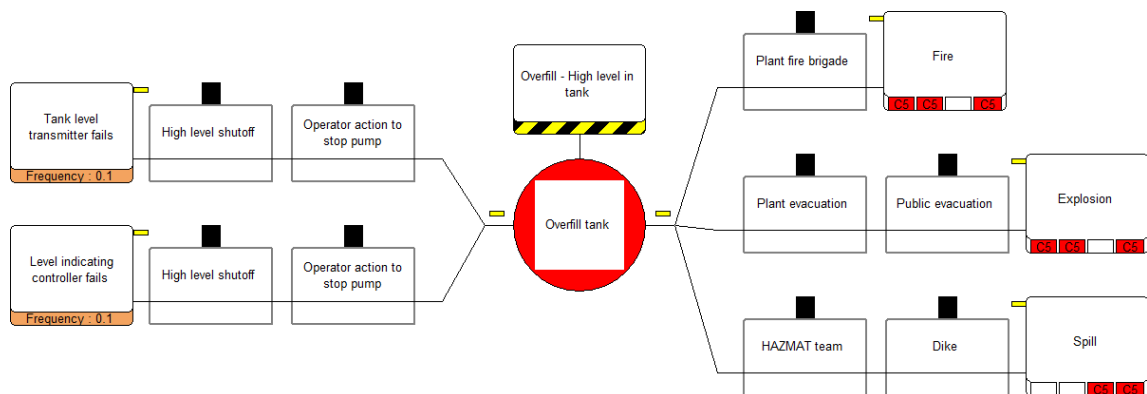
enquiries@BowTiePro.com
www.BowTiePro.com

Introducción

El análisis de las capas de protección (LOPA) es uno de los muchos sistemas de seguridad que a menudo se utilizan para analizar la forma de mitigar el riesgo asociado a un proceso potencialmente peligroso o planta. El resultado se determina mediante un cálculo y este se compara con el nivel aceptable que se expresa habitualmente como un Nivel de Integridad de la Seguridad (SIL). Como tal, la selección de un SIL apropiado es un paso fundamental en cualquier especificación de seguridad. LOPA es sin duda el método de elección y encaja en la metodología CORBATÍN cuando ya se han identificado las amenazas, los controles y consecuencias.

¿Por qué LOPA?

LOPA es una metodología sistemática, semi-cuantitativa para examinar defensas en profundidad y la asignación de sus objetivos SIL. Su aplicación detallada puede garantizar que todas las organizaciones alcanzan un nivel definido y coherente de seguridad en todos sus procesos y plantas. Esto generalmente se basa en los resultados de un análisis de CORBATÍN. El siguiente bowtie muestra el resultado del sobrellenado de un tanque en una refinería. El análisis ha identificado consecuencias de alto riesgo.



Una o más amenazas pueden llevar a una consecuencia. Cada amenaza y consecuencia se llama una rama. LOPA se centra en una sola rama a la vez. En el ejemplo anterior hay seis posibles ramas, es decir, Amenaza 1 tiene cada una de las tres consecuencias y la amenaza 2 para cada una de las tres consecuencias.

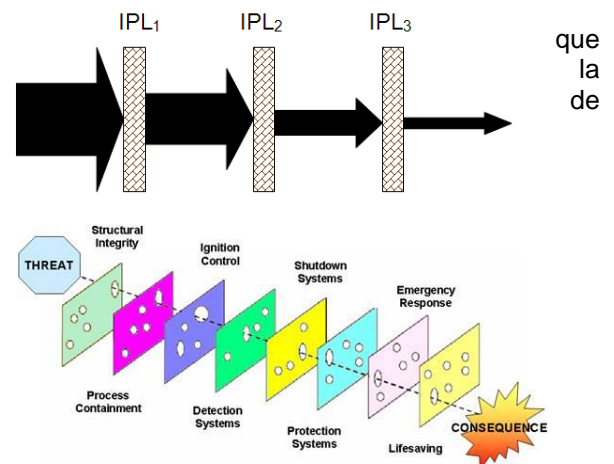
La Frecuencia necesita ser asignada a cada amenaza. Una amenaza puede necesitar un factor facilitador de la amenaza para ser liberada y esto también se puede introducir en el diagrama LOPA, entonces cada control se evalúa para reducir la probabilidad de la amenaza logrando controlar que el evento pueda llegar a la consecuencia.

Para que esto sea evaluado cada control debe tener una capa de protección independiente (IPL) que, como norma, se define por dos características claves:

- ✓ El control es eficaz en la prevención de que el escenario llegue a tener Consecuencia.
- ✓ El control es independiente del suceso iniciador y los otros controles.

Si la salvaguardia cumple estas dos AMBAS pruebas, es una IPL.

La figura de la derecha ilustra el concepto de LOPA, es decir, cada IPL actúa como una barrera para reducir la frecuencia de consecuencia. El espesor de la flecha representa la frecuencia las consecuencias si las IPL posteriores no tienen éxito.



En muchos casos, la barrera es un sistema físico tal como una válvula de corte y estos sistemas pueden tener una probabilidad de falla bajo demanda (PFD) definida a partir de la evidencia histórica. Los tipos de equipos se pueden añadir a un elemento del equipo en la puesta a punto y cada control puede tener una pieza de equipo (etiquetado como un sistema). Al utilizar este método se desarrolló el modelo de "Equipo Queso Suizo", como se muestra a la derecha. Dentro de BowTie Pro™ los Sistemas y equipos pueden colorearse.

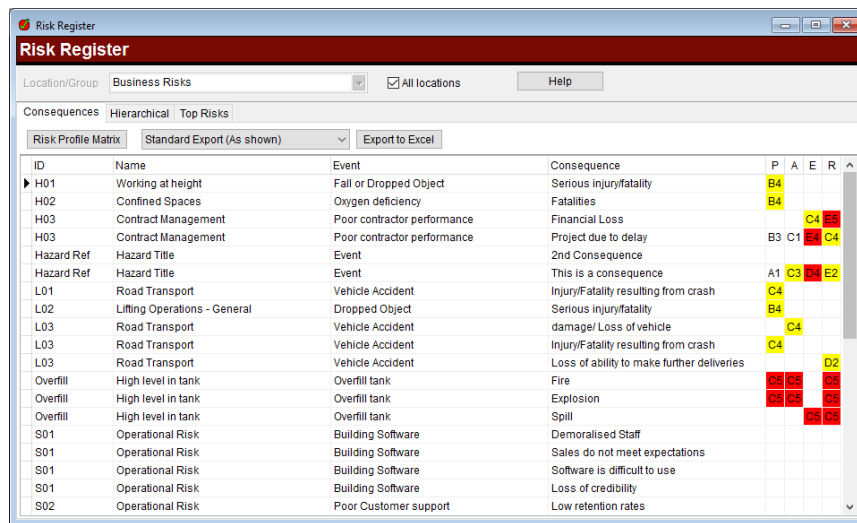
El proceso LOPA de Bowtie

El enfoque LOPA logra:

- ✓ Desarrollar los CORBATINES.
- ✓ Identificar las consecuencias de alto riesgo para el análisis.
- ✓ Determinar la rama mediante la selección de la amenaza y la consecuencia que se ha entrado en los CORBATINES.
- ✓ Calcula la frecuencia de la consecuencia:
 - Identificando la frecuencia de la amenaza para la rama (obligatorio).
 - Identificando todo el factor facilitador de la rama (opcional).
 - Cuantificando la probabilidad de falla de cada control a lo largo de la rama.
 - Identificando todos los modificadores condicionales para la rama (opcional).
- ✓ Identifica un Criterio de Aceptación.
- ✓ Determina si la consecuencia es administrada aceptablemente ALARP.

¿Cómo se implementa LOPA?

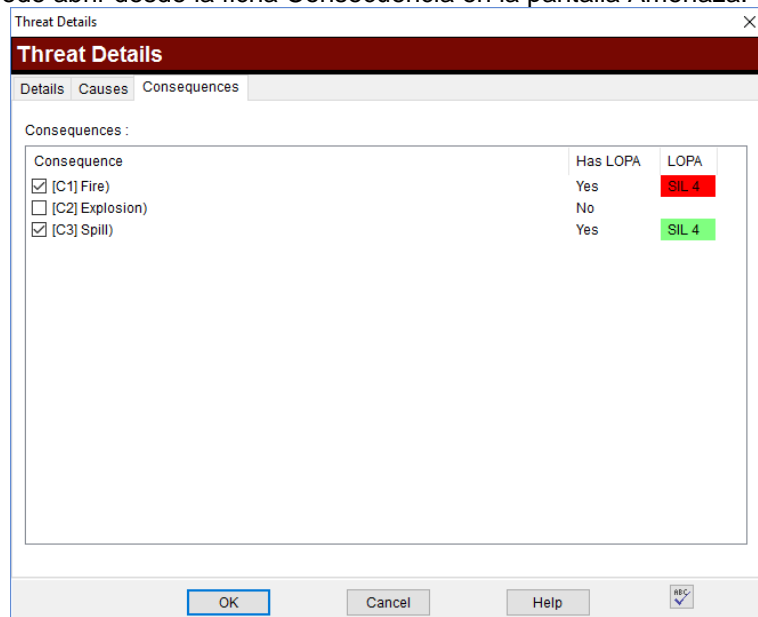
Los riesgos que requieren un análisis más detallado se pueden ver en el registro de riesgos. El registro de riesgos permite la entrada y el análisis de peligros y las consecuencias en una pantalla similar a un Registro de peligros. La pantalla se abre yendo: Análisis -> Registro de Riesgos de la barra de menú.




ID	Name	Event	Consequence	P	A	E	R
H01	Working at height	Fall or Dropped Object	Serious injury/fatality	B4			
H02	Confined Spaces	Oxygen deficiency	Fatalities	B4			
H03	Contract Management	Poor contractor performance	Financial Loss			C4	E5
H03	Contract Management	Poor contractor performance	Project due to delay	B3	C1	E3	C4
Hazard Ref	Hazard Title	Event	2nd Consequence				
Hazard Ref	Hazard Title	Event	This is a consequence	A1	C3	E4	E2
L01	Road Transport	Vehicle Accident	Injury/Fatality resulting from crash			C4	
L02	Lifting Operations - General	Dropped Object	Serious injury/fatality			B4	
L03	Road Transport	Vehicle Accident	damage/ Loss of vehicle				C4
L03	Road Transport	Vehicle Accident	Injury/Fatality resulting from crash			C4	
L03	Road Transport	Vehicle Accident	Loss of ability to make further deliveries				D2
Overflow	High level in tank	Overflow tank	Fire	C5	C5	C5	
Overflow	High level in tank	Overflow tank	Explosion	C5	C5	C5	
Overflow	High level in tank	Overflow tank	Spill				C5
S01	Operational Risk	Building Software	Demoralised Staff				
S01	Operational Risk	Building Software	Sales do not meet expectations				
S01	Operational Risk	Building Software	Software is difficult to use				
S01	Operational Risk	Building Software	Loss of credibility				
S02	Operational Risk	Poor Customer support	Low retention rates				

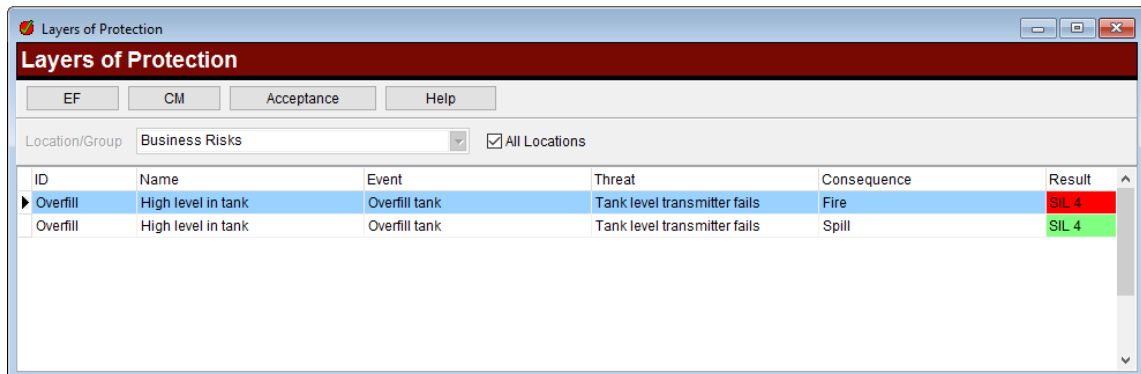
Una vez se han identificado los peligros que requieren un análisis más detallado de un análisis LOPA se puede comenzar.

Un análisis LOPA se puede abrir desde la ficha Consecuencia en la pantalla Amenaza.



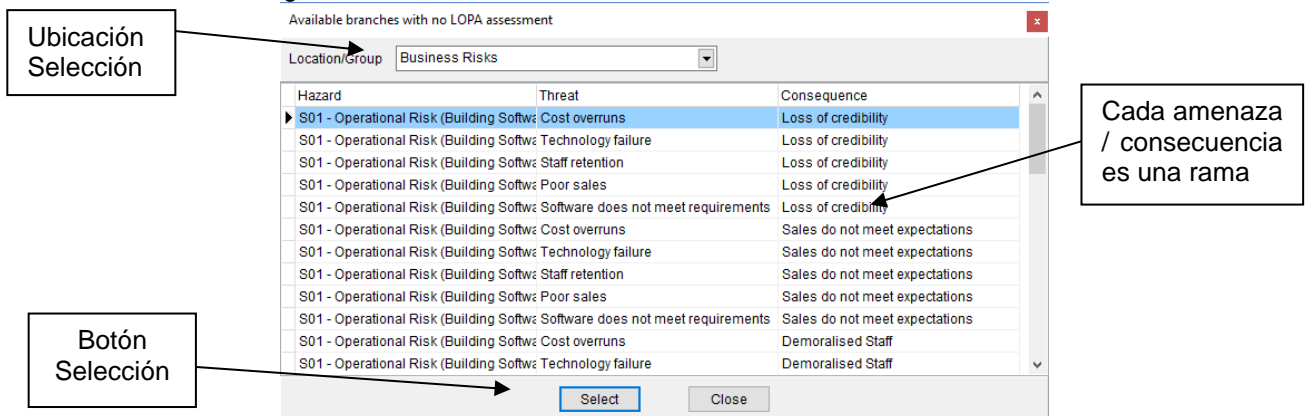
Consequence	Has LOPA	LOPA
<input checked="" type="checkbox"/> [C1] Fire)	Yes	SIL 4
<input type="checkbox"/> [C2] Explosion)	No	
<input checked="" type="checkbox"/> [C3] Spill)	Yes	SIL 4

Todas las ramas LOPA se pueden ver en la pantalla del Administrador, capas de protección, desde la que se pueden gestionar todas las demás ramas de análisis abiertas para el archivo. A esta pantalla se accede desde la barra de herramientas, por opción Análisis -> "Capas de Protección" o haciendo clic en el botón  en la barra de menús.



En esta pantalla aparecerá una lista de todos los análisis LOPA existentes. La línea muestra la rama amenaza/consecuencia y los criterios de aceptación y si pasa esta aceptación se ubica o muestra a la derecha. Más detalles sobre esto se discutirán más adelante en este documento.

Para iniciar una nueva evaluación haga clic derecho sobre la sección inferior y seleccione "Nueva Evaluación LOPA" en el menú emergente.



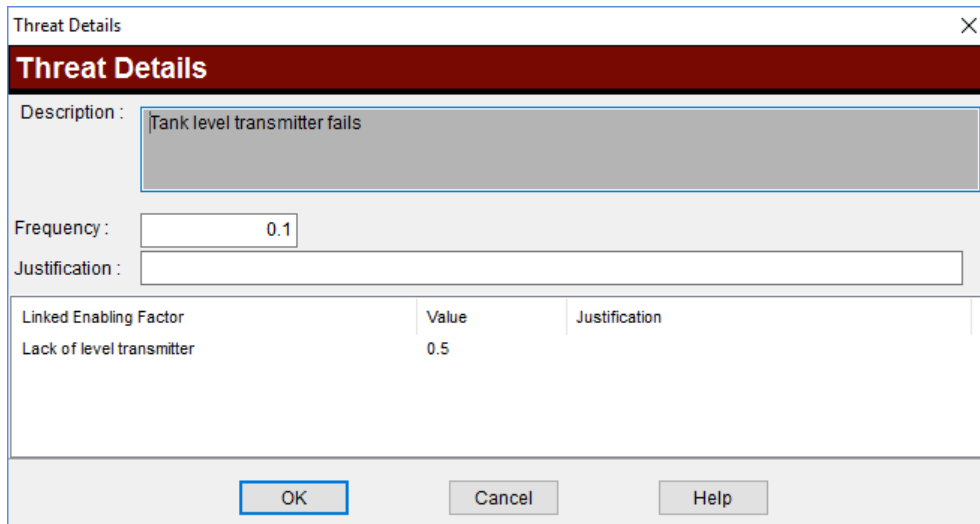
Esto le mostrará todas las ramas que aún no tienen una evaluación LOPA contra ellas clasificadas por ubicación.

Seleccione la Amenaza -> rama de consecuencia que se desee analizar y pulse el botón "Seleccionar" en la parte inferior de la pantalla

Esto creará un nuevo análisis LOPA y abrir un diagrama LOPA desde donde se puede iniciar el desarrollo.



Para iniciar el perfeccionamiento de la rama, haga doble clic sobre la amenaza. Esto mostrará una pantalla de amenaza diferente a la que se utiliza en el desarrollo de los CORBATINES.

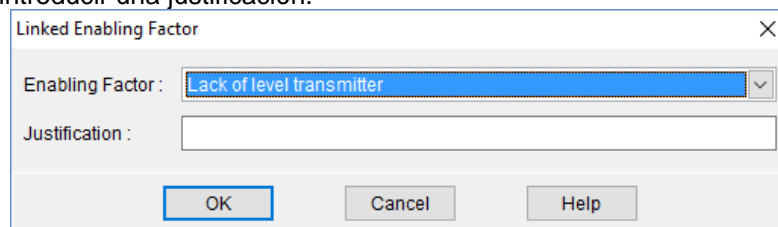


Linked Enabling Factor	Value	Justification
Lack of level transmitter	0.5	

La descripción es de sólo lectura y la frecuencia es un valor obligatorio. Este es el mismo valor que el introducido en la pantalla bowtie de amenazas y se define como la frecuencia de la amenaza que se produce por año, en este ejemplo 10⁻¹ (0,1). Lo ideal sería que también debe proporcionar una justificación para esta frecuencia.

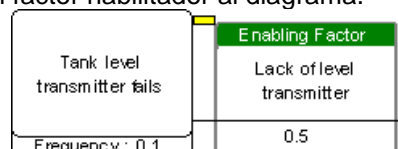
Los factores desencadenantes son los eventos o condiciones que hacen posible que la amenaza ocurra. Es posible añadir muchos factores desencadenantes, pero éstos no son obligatorios. El Factor desencadenante es seleccionado de la lista de elementos predefinidos y cada uno de estos elementos tiene un valor definido. La lista de factores desencadenantes usados se muestran en el centro de la pantalla de amenazas y se pueden agregar a la rama factores adicionales mediante la selección en red pulsando “Nuevo” en el menú emergente.

Esto mostrará la visualización en la pantalla de Factor de Habilitación Vinculado a partir del cual se puede seleccionar un valor e introducir una justificación.

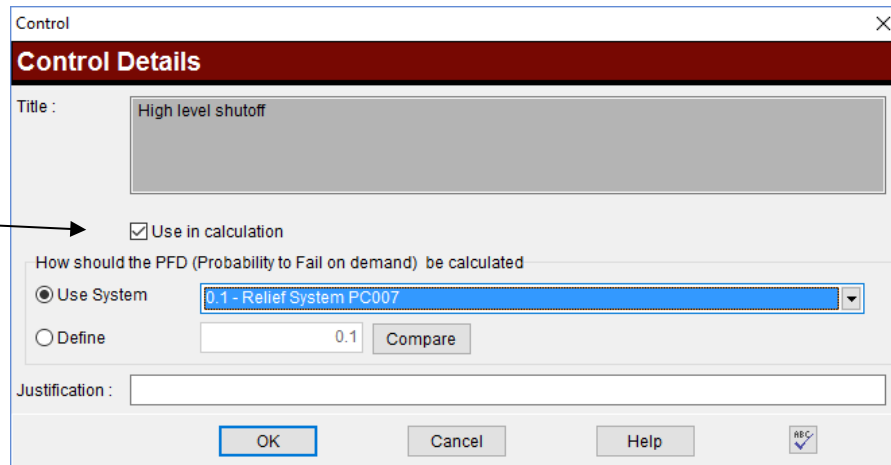


Para eliminar un elemento, simplemente resaltar el elemento de la lista en la pantalla de amenaza y presiona “Eliminar” haciendo clic del botón derecho del mouse. Esto también se puede hacer en el diagrama mediante el click botón derecho sobre el objeto.

Esto cambiará el diagrama y añadirá el factor habilitador al diagrama.



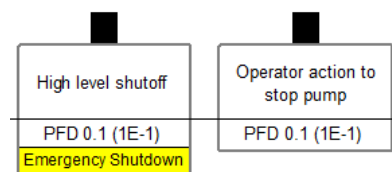
Ahora cada uno de los controles se puede evaluar a su vez. Haciendo doble clic sobre un elemento se abrirá la pantalla de control LOPA.



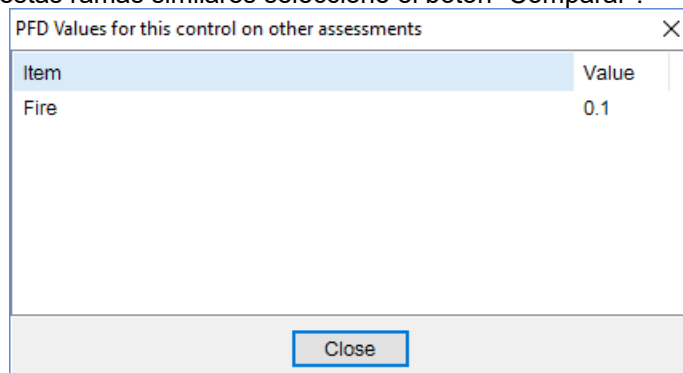
Utilizar en el cálculo

El control puede tener una probabilidad de fallo bajo demanda (PFD). El PFD es independiente de los otros controles en las ramas similares, por ejemplo, el mismo control, pero que conduce a un fuego en lugar de un derrame pueden tener un valor diferente

El ajuste PFD puede provenir de un valor definido en el Equipo o de un valor introducido manualmente. Si el evento proviene del equipo, entonces el equipo se incluirá en el PFD y la categoría de color del Tipo equipo se utiliza como fondo. Si se introduce manualmente entonces se el PDF mostrará como se muestra en el control a la derecha



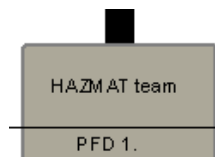
Para ver los otros PFD en estas ramas similares seleccione el botón "Comparar".



Item	Value
Fire	0.1

Una justificación se puede agregar para explicar por qué se ha introducido este PFD.

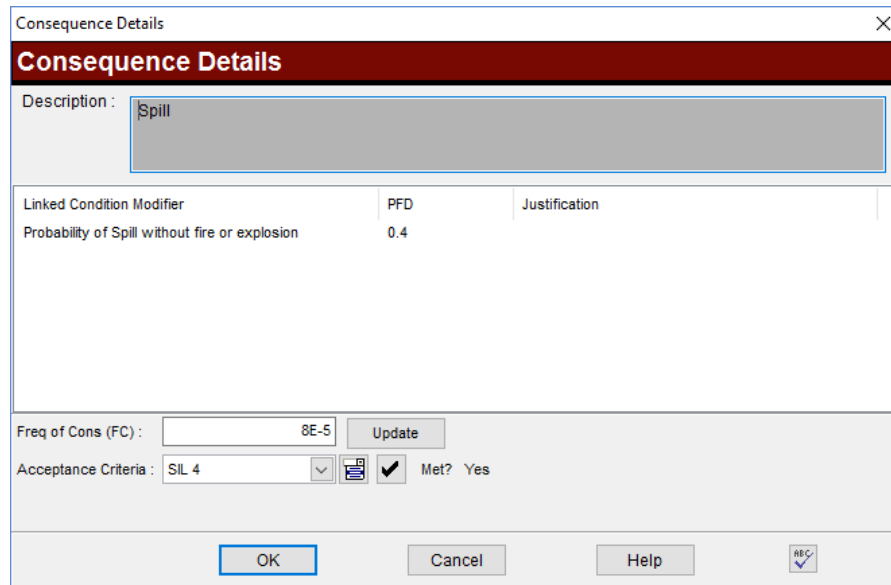
Si el control no es apropiado en esta rama en particular, entonces quite la marca de la casilla de verificación "Usar en cálculo" en la pantalla de controles resaltada arriba. Esto eliminará el valor a la hora de hacer el cálculo de la frecuencia global y también dibujará el control como una caja oscura "mostrar LOPA todos los controles" si la opción está marcada en la barra de menú de Diagramas o no mostrará el control en absoluto si esta opción no está marcada.



El título en la pantalla de control es de sólo lectura y sólo se puede cambiar en el CORBATÍN principal.

La consecuencia muestra el resultado de todo el cálculo de la frecuencia por ejemplo,

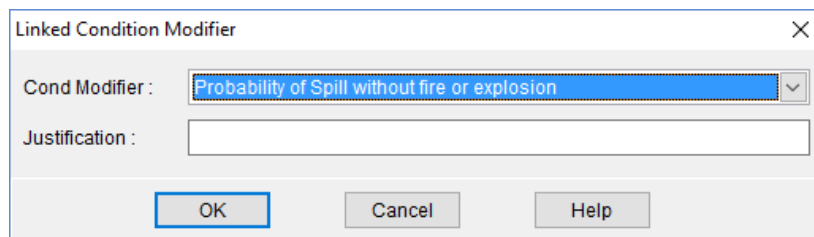
$$\begin{aligned}
 &\text{Frecuencia de Amenaza} \\
 &\quad \times \\
 &\text{Factor de Activación} \\
 &\quad \times \\
 &\text{PFD de cada control} \\
 &\quad = \\
 &\text{Resultado}
 \end{aligned}$$



modificador de Condiciones

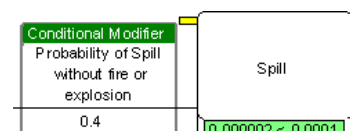
Desde esta pantalla es posible agregar muchos modificadores de condición. Un modificador condición se utiliza para determinar la probabilidad de un evento específico, por ejemplo, en este ejercicio, si hay un derrame de aceite, cuál es la probabilidad de que sólo sea un derrame, y que no cause un incendio. Se muestra en el medio de la pantalla la lista de modificadores a la condición usada y los modificadores condición adicionales se pueden añadir a la rama mediante la selección de la red y pulsar “Nuevo” en el menú emergente.

Esto le mostrará la pantalla ligada de modificadores condición y permite una justificación para la selección de este valor a introducir.




Para eliminar un elemento, simplemente resalte el elemento en la lista de modificador de condición arriba y presione “Eliminar” con botón derecho en el menú emergente.

Los modificadores de condición se mostrarán en el diagrama

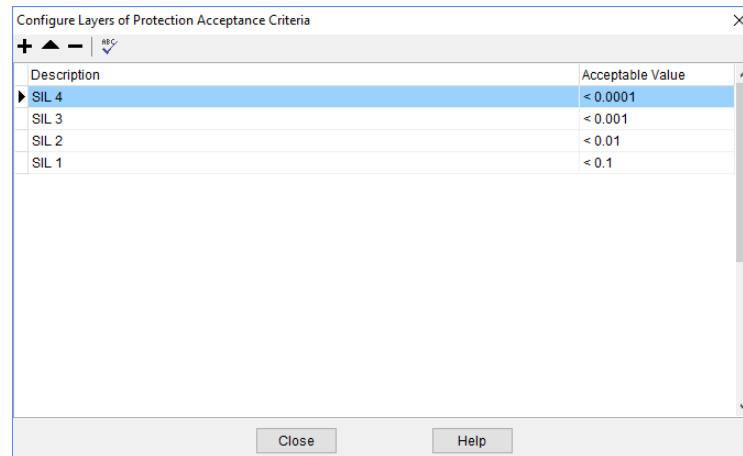


La parte inferior de la pantalla de consecuencia muestra el resultado de la frecuencia del cálculo consecuencia y permite definir los criterios de aceptación.

Los criterios de aceptación se pueden definir de varias maneras. Si se determina que una meta de frecuencia aceptable de fuego es inferior a 10^{-6} por año, entonces esto puede ser introducido en la lista de aceptables y seleccionada en la pantalla de Consecuencia. Los criterios de aceptación se pueden modificar pulsando el botón .

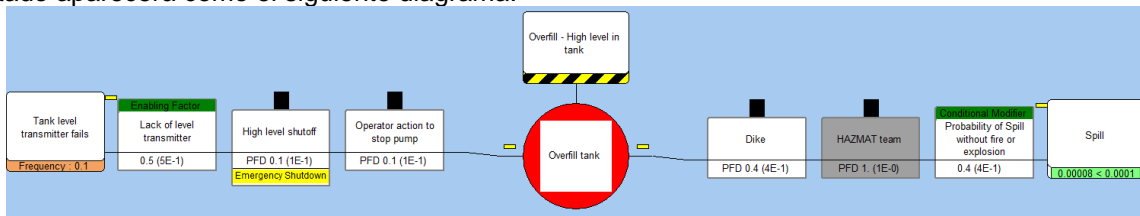
Una posible manera de definir la aceptación es utilizar el nivel de integridad de seguridad (SIL) para funciones de seguridad que operan en baja demanda de operación, adaptado de IEC 61511 (2003) como se muestra en la Tabla siguiente.

nivel de integridad de seguridad (SIL)	Promedio de probabilidad de fallo para realizar su función de diseño en demanda
SIL 4	$<10^{-4}$
SIL 3	$<10^{-3}$
SIL 2	$<10^{-2}$
SIL 1	$<10^{-1}$



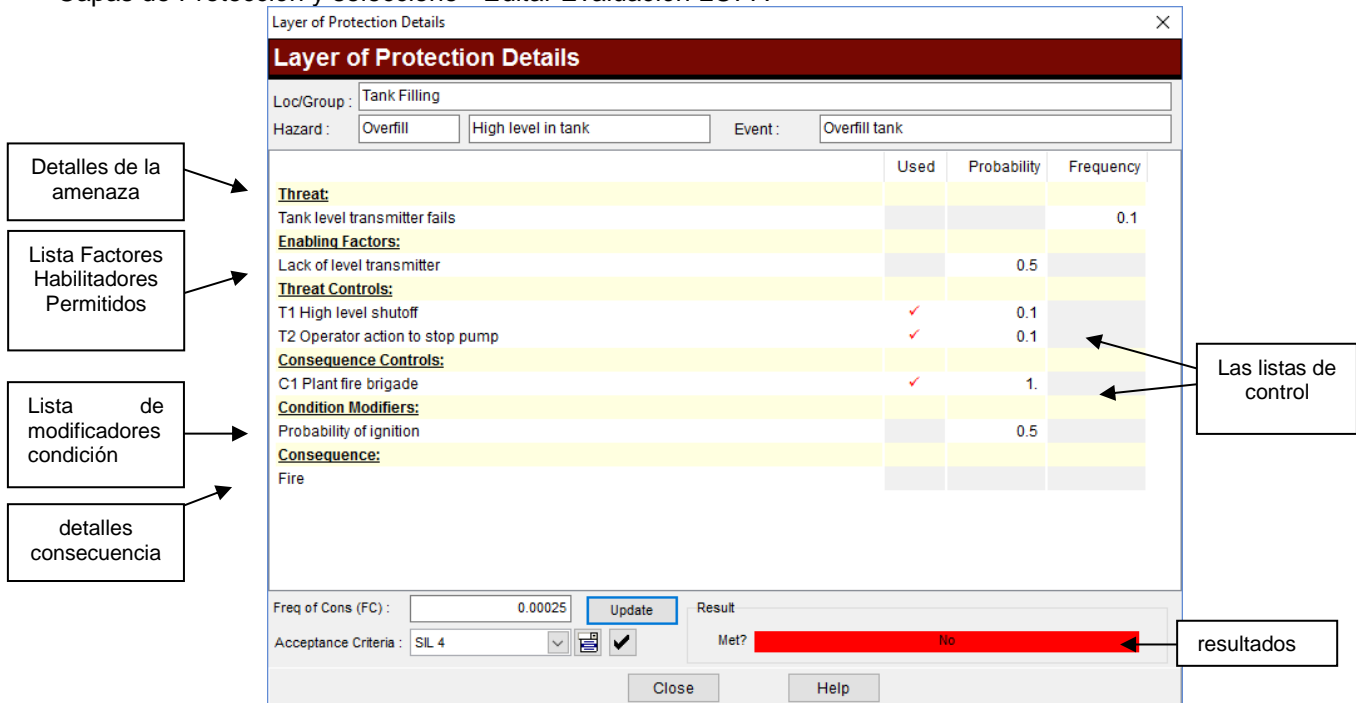
Cualesquiera que sean los criterios de aceptación utilizados, BowTie Pro™ mostrará si el criterio es Cumplido mediante la visualización de una barra roja o verde en la parte inferior de la pantalla y la caja Consecuencia en el diagrama.

El resultado aparecerá como el siguiente diagrama.



Los datos también pueden introducirse utilizando una pantalla no visual LOPA, pero el método y el cálculo siguen siendo los mismos.

Para abrir esta pantalla, pulsar click derecho en un elemento de la pantalla en cuadrícula del Administrador de Capas de Protección y seleccione " Editar Evaluación LOPA "



	Used	Probability	Frequency
Threat:			
Tank level transmitter fails			0.1
Enabling Factors:			
Lack of level transmitter		0.5	
Threat Controls:			
T1 High level shutoff	✓	0.1	
T2 Operator action to stop pump	✓	0.1	
Consequence Controls:			
C1 Plant fire brigade	✓	1.	
Condition Modifiers:			
Probability of ignition		0.5	
Consequence:			
Fire			

Freq of Cons (FC): 0.00025 Result: Met? No

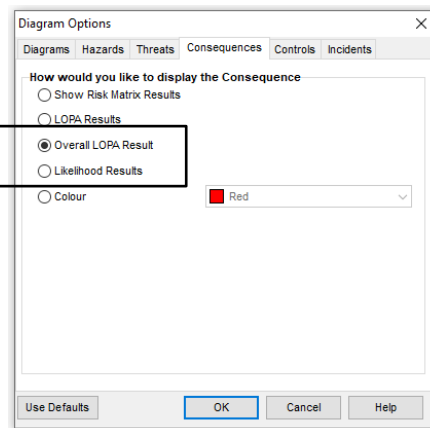
La pantalla permite la entrada de la información que se detalla en el resumen de LOPA con los resultados que se muestran en la parte inferior.

Las secciones LOPA se detallan en el texto en **negrita** y los artículos se mostrarán en la sección correspondiente a continuación del título de su sección. Un elemento puede ser editado, añadido, eliminado o escondido con el clic derecho sobre él. Un producto también se puede abrir haciendo doble clic en el texto.

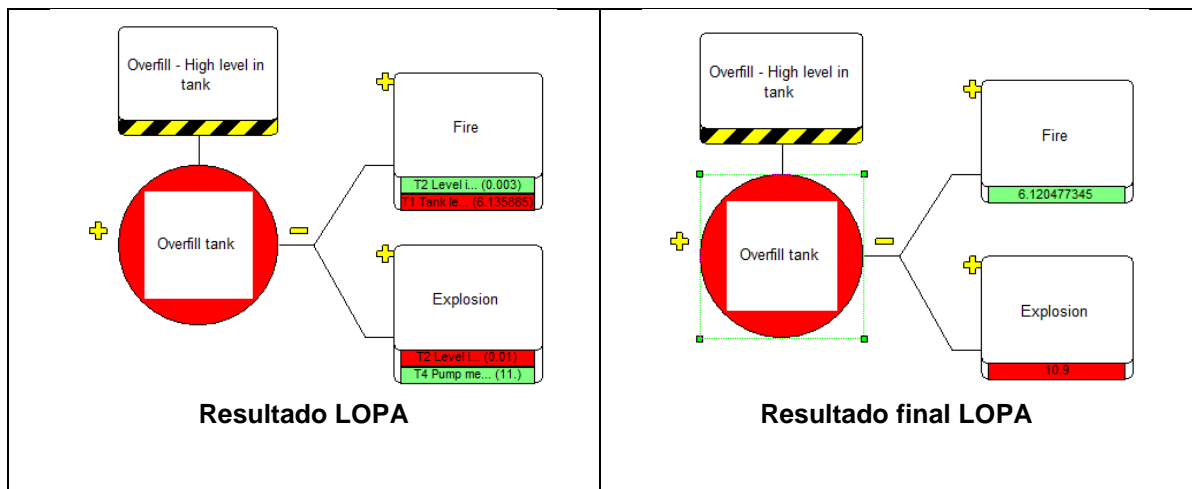
Aceptación de Consecuencias aceptables en LOPA

Una vez que se ha completado el análisis LOPA en varias ramas, se puede configurar el análisis LOPA general para una consecuencia. Esto se completa en el diagrama BOWTIE.

Hay diferentes formas de mostrar los resultados de LOPA en el diagrama BOWTIE. Estos se configuran en la pestaña Consecuencias en la pantalla "Opciones de diagrama"



Los 2 parámetros son

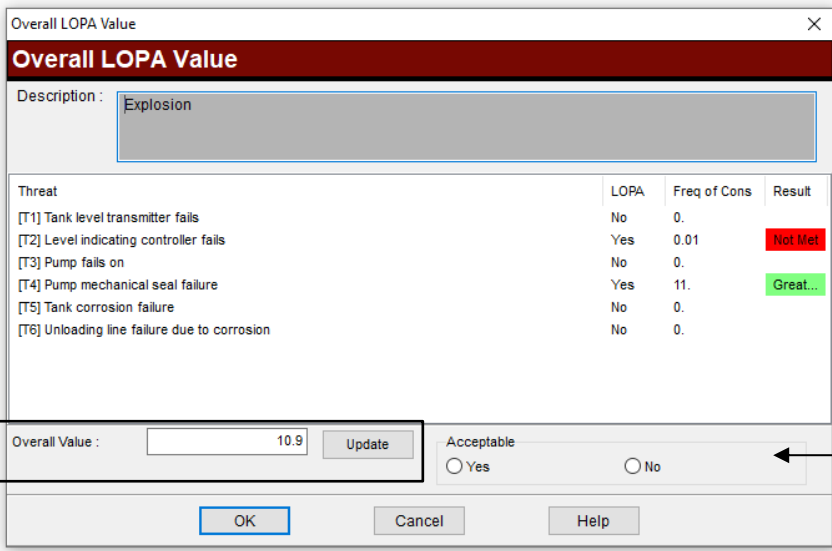


Los resultados del análisis LOPA se muestran rama por rama como se describe arriba. El resultado LOPA final es determinado en la pantalla que se accede pulsando sobre la consecuencia el "click" derecho y seleccionando "Consecuencia final LOPA"

La pantalla muestra los resultados de todas las ramas LOPA y la “Frecuencia de las Consecuencias” como se describe arriba. Como “valor final” se muestra un valor calculado usando la formula

$$\text{Resultado general} = (\text{LOPA Resultado Amenaza 1}) + (\text{LOPA Resultado Amenaza 2}) + (\text{LOPA Resultado Amenaza 3}) - ((\text{LOPA Resultado Amenaza 1}) * (\text{LOPA Resultado Amenaza 2}) * (\text{LOPA Resultado Amenaza 3}))$$

La determinación si cumple un nivel aceptable es cuantitativo. Si el valor establecido se cumple, entonces el valor se mostrará con fondo color verde y si no lo cumple se mostrará el fondo rojo.



Overall LOPA Value

Overall LOPA Value

Description : Explosion

Threat	LOPA	Freq of Cons	Result
[T1] Tank level transmitter fails	No	0.	
[T2] Level indicating controller fails	Yes	0.01	Not Met
[T3] Pump fails on	No	0.	
[T4] Pump mechanical seal failure	Yes	11.	Great...
[T5] Tank corrosion failure	No	0.	
[T6] Unloading line failure due to corrosion	No	0.	

Overall Value : 10.9 Update

Acceptable
 Yes No

OK Cancel Help

Detalle del Cálculo Valor General

Aceptación del Nivel Final