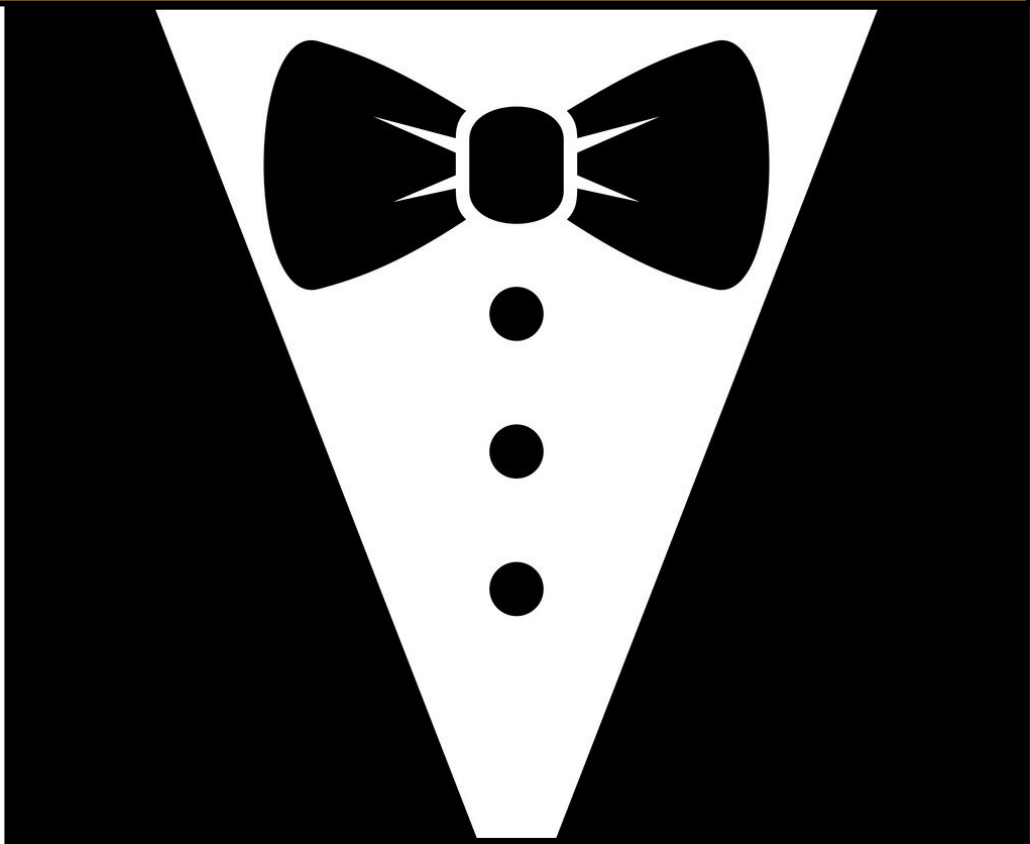


2° Edición
Agosto 2026

Método BowTie

Método de Análisis de Peligros



Material no apto para la venta.

Ing. Nestor Adolfo BOTTA



www.redproteger.com.ar

*"Este mandamiento nuevo les doy:
que se amen los unos a los otros.
Así como yo los he amado,
también ustedes deben amarse los unos a los otros.
De este modo todos sabrán que son mis discípulos,
si se aman los unos a los otros."*

Juan 13:34-35



EL AUTOR



Néstor Adolfo BOTTA es Ingeniero Mecánico recibido en el año 1992 en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata; Ingeniero Laboral recibido en el año 1995 en la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional La Plata; Diplomado en Ergonomía recibido en el año 2018 en la Facultad de Química e Ingeniería del Rosario de la Pontificia Universidad Católica Argentina; y Diplomado en Sistemas Integrados de Gestión recibido en el año 2021 en la Universidad Nacional de Lomas de Zamora.

Estudiante de la Diplomatura en Teología en el Instituto Bíblico Río de La Plata desde el 2022.

Es el Titular de la empresa Red Proteger, empresa dedicada a la Capacitación y Divulgación de conocimientos en materia de seguridad e higiene en el trabajo (www.redproteger.com.ar).

Desarrolló funciones como Responsable de Higiene y Seguridad en el Trabajo en empresas como SOIME SRL, TRADIGRAIN ARGENTINA SA, AMANCO ARGENTINA SA, MOLINOS RÍO DE LA PLATA SA y SEVEL ARGENTINA SA.

Asesoró a diversas empresas entre las que se destacan AKZO NOBEL SA, CERVECERÍA Y MALTERÍA QUILMES SAICAYG y APACHE ENERGÍA ARGENTINA SRL.

Su extensa actividad docente lo ubica como:

- Profesor Titular en el Instituto Superior Federico Grote (Rosario – Santa Fe) para la Carrera de “Técnico Superior en Seguridad e Higiene en el Trabajo” para las asignaturas de Higiene y Seguridad en el Trabajo I, Seminario Profesional, Prevención y Control de Incendios II, y Prevención y Control de Incendios I.
- Profesor en la UCA de Ing. de Rosario para la Carrera de Posgrado de Higiene y Seguridad en el Trabajo en la asignatura de Riesgo y Protección de Incendios y Explosiones.
- Profesor Titular en la Universidad Nacional del Litoral para la Carrera de Técnico en Seguridad Contra Incendios en la asignatura de Seguridad Contra Incendios III. Sistema de educación a distancia.
- Profesor en la Universidad Nacional del Litoral - Sede Rosario, para la Carrera de Lic. en Seguridad y Salud Ocupacional en la asignatura de Práctica Profesional.
- Profesor Interino Cátedra “Elementos de Mecánica”. Carrera “Técnico Superior en Seguridad e Higiene en el Trabajo”. ISFD Nro. 12 La Plata – 1.996
- Ayudante Alumno Cátedra “Termodinámica”. Universidad Nacional de La Plata - Facultad de Ingeniería.
- Ayudante Alumno Cátedra “Análisis Matemático”. Universidad Nacional de La Plata - Facultad de Ciencia Económicas.

Datos de Contacto

e-mail: nestor.botta@redproteger.com.ar

ÍNDICE

1) Análisis del Método BowTie Según ISO 31.010

- 1.1) Utilización
- 1.2) Elementos de Entrada
- 1.3) Proceso
- 1.4) Fortalezas
- 1.5) Limitaciones
- 1.6) Resultados

2) Historia del Método BowTie

3) Métodos de Base

4) ¿Qué es la Metodología BowTie?

5) Pros y Contras del Método BowTie

- 5.1) Los Pro del Método BowTie
- 5.2) Contras del Método BowTie
- 5.3) Cuándo Debería Aplicarse
- 5.4) Cuándo No Debería Aplicarse

6) Elementos del Modelo BowTie

7) Análisis de los Elementos del BowTie

- 7.1) Peligro/Hazard
- 7.2) Evento Límite
- 7.3) Causas
- 7.4) Consecuencias
- 7.5) Barreras
- 7.6) Factores de Degradación
- 7.7) Controles de Degradación

8) Construcción del Diagrama BowTie

1) ANÁLISIS DEL MÉTODO BOWTIE SEGÚN ISO 31.010¹

Según la norma ISO 31.010:2013 en el Anexo A.1, que trata sobre la aplicabilidad de la herramienta, establece para el método BowTie las siguientes consideraciones:

“El análisis bow tie es un método esquemático sencillo para describir y analizar los caminos de un riesgo desde las causas hasta las consecuencias.

Se puede considerar que es una combinación del pensamiento de un árbol de fallas que analiza la causa de un evento (representado por el nudo de un corbatín) y un árbol de eventos que analiza las consecuencias.

Sin embargo, el enfoque del diagrama bow tie centra en las barreras entre las causas y el riesgo, y el riesgo y las consecuencias.

Los diagramas bow tie se pueden elaborar a partir del árbol de fallas y del árbol de eventos, pero con más frecuencia se obtienen directamente de una sesión de tormenta de ideas.”

Tabla A.1 - Aplicabilidad de las herramientas utilizadas para la evaluación del riesgo

Herramientas y técnicas	Proceso de evaluación del riesgo					Ver
	Identificación del riesgo	Análisis del riesgo			Valoración del riesgo	
		Consecuencia	Probabilidad	Nivel de riesgo		
Tormenta de ideas	MAA ¹⁾	MAA ²⁾	MA	MA	MA	B.1
Análisis bow tie	NA	A	MA	MA	A	B.21
Mantenimiento centrado en la fiabilidad	MA	MA	MA	MA	MA	B.22
Análisis del circuito de fuga	A	NA	NA	NA	NA	B.23

(continúa)

¹ Desarrollado según norma ISO 31.010:2013.

1.1) Utilización

El análisis bow tie se utiliza para presentar a un peligro mostrando una gama de causas y consecuencias posibles. Se utiliza cuando la situación no justifica la complejidad de un análisis de árbol de fallas completo o cuando se trata más de asegurar que existe una barrera o control para cada camino de falla. Este análisis es útil cuando existen caminos independientes y claros que trata la falla.

Con frecuencia, el análisis bow tie es más fácil de entender que los árboles de fallas y de eventos, y por ello puede ser una herramienta de comunicación útil cuando el análisis se obtiene mediante la utilización de técnicas más complejas.

1.2) Elementos de Entrada

Se requiere la comprensión de la información sobre las causas y consecuencias del peligro a estudiar, y de las barreras y controles que pueden prevenir, mitigar o estimular a ese peligro.

1.3) Proceso

El análisis bow tie se elabora de la manera siguiente:

- a) Mediante análisis se identifica un peligro particular y se presenta como el nudo de un corbatín.
- b) Se listan las causas del evento considerando los orígenes del peligro.
- c) Se identifica el mecanismo mediante el cual el origen del peligro conduce al evento crítico.
- d) Se trazan las líneas entre cada causa y el evento, formando el lado izquierdo del diagrama bow tie.

Los factores que podrían llevar a una intensificación se pueden identificar e incluir en el programa.

- e) Las barreras que deberían impedir que cada causa conduzca a consecuencias no deseadas se pueden representar con barras verticales a través de la línea. Cuando existan factores que podrían dar lugar a que se produzca una intensificación, también se pueden representar las barreras contra la intensificación.

El enfoque se puede aplicar para consecuencia positivas cuando las barras reflejen “controles” que estimulan la generación del evento.

- f) En el lado derecho del diagrama bow tie se identifican las diferentes consecuencias posibles del peligro y se trazan las líneas radiales que unen el evento del peligro con cada consecuencia posible.
- g) Las barreras a las consecuencias se representan como barras que cruzan las líneas radiales.

El enfoque se puede aplicar para consecuencias positivas cuando las barras reflejen “controles”, que apoyen la generación de consecuencias.

- h) Las funciones de gestión que soportan controles (tales como formación e inspección) se pueden mostrar bajo el diagrama bow tie y unidas a sus controles respectivos.

Algún nivel de cuantificación de un diagrama bow tie puede ser posible cuando los caminos son independientes, la probabilidad de una consecuencia o resultado particular es conocida, y la eficacia de un control se puede estimar mediante un número.

Sin embargo, en muchas situaciones, los caminos y las barreras no son independientes y los controles pueden ser de procedimientos y por tanto la efectividad no es clara. Con frecuencia, la cuantificación se consigue de forma más apropiada aplicando análisis FTA y ETA.

1.4) Fortalezas

Fortalezas del análisis bow tie:

- Es simple de comprender y proporciona una clara representación gráfica del problema;
- Enfoca su atención sobre los controles que se supone están colocados para prevención y mitigación y sobre sus consecuencias;
- Se puede utilizar para consecuencias deseables;
- No es necesario un alto nivel de conocimientos técnicos para utilizarlos.

1.5) Limitaciones

Las limitaciones incluyen:

- No se puede representar donde se producen múltiples causas simultáneamente que origina consecuencias (es decir, cuando existen puertas Y, puertas lógica AND, en un árbol de fallas situadas en el lado izquierdo del nudo);
- Puede simplificar al máximo situaciones complejas, en particular cuando se trata de conseguir la cuantificación.

1.6) Resultados

El resultado es un diagrama sencillo que muestra los caminos del peligro principal y las barreras colocadas para impedir o mitigar las consecuencias no deseadas y promover las consecuencias deseadas.

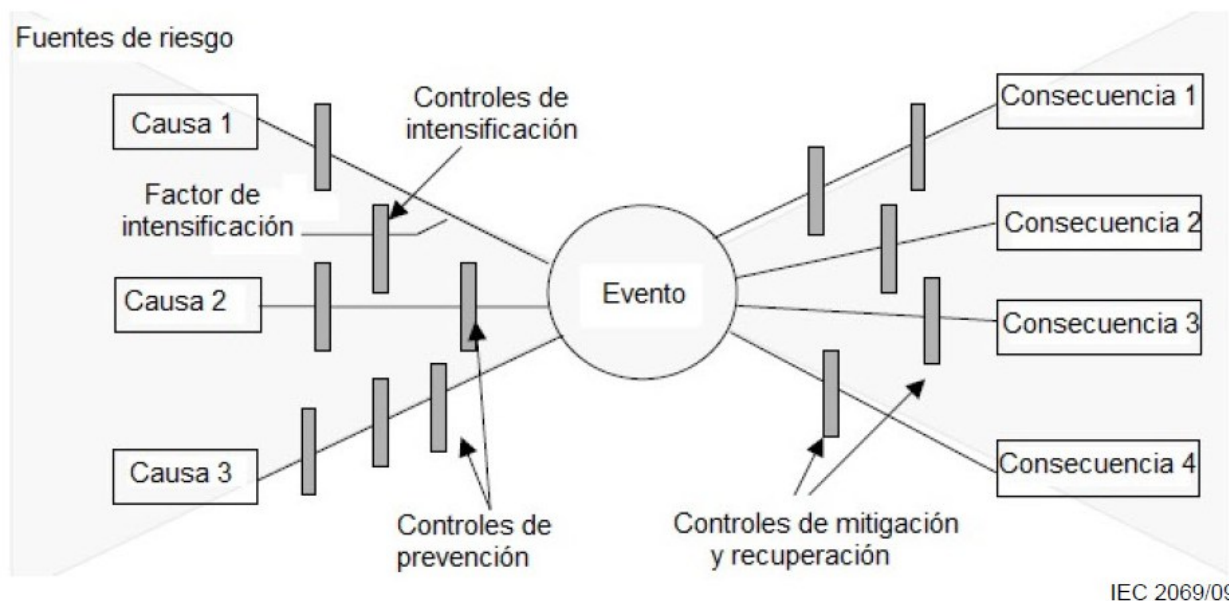


Figura B.8 - Ejemplo de diagrama bow tie para consecuencias no deseadas

2) HISTORIA DEL MÉTODO BOWTIE

No se sabe con certeza los orígenes de la metodología BowTie, pero existen antecedentes de que los primeros diagramas aparecieron en la ICI (Imperial Chemical Industries) como apuntes del curso HAZAN (Análisis de Peligros) dado en la Universidad de Queensland Australia en el año 1979.

A principios de los 90 la Royal Dutch / Shell Group estandarizó la metodología BowTie para el análisis y la gestión de sus riesgos. Shell estableció las primeras reglas de uso con la finalidad de crear una metodología de estudio que permitiera asegurar la implementación de las capas de protección más adecuadas en cualquier operación del mundo. Después de Shell el método rápidamente ganó en apoyo en toda la industria y en la última década el método se extendió a los sectores de la aviación, minería, marítimo, químico y cuidado de la salud.

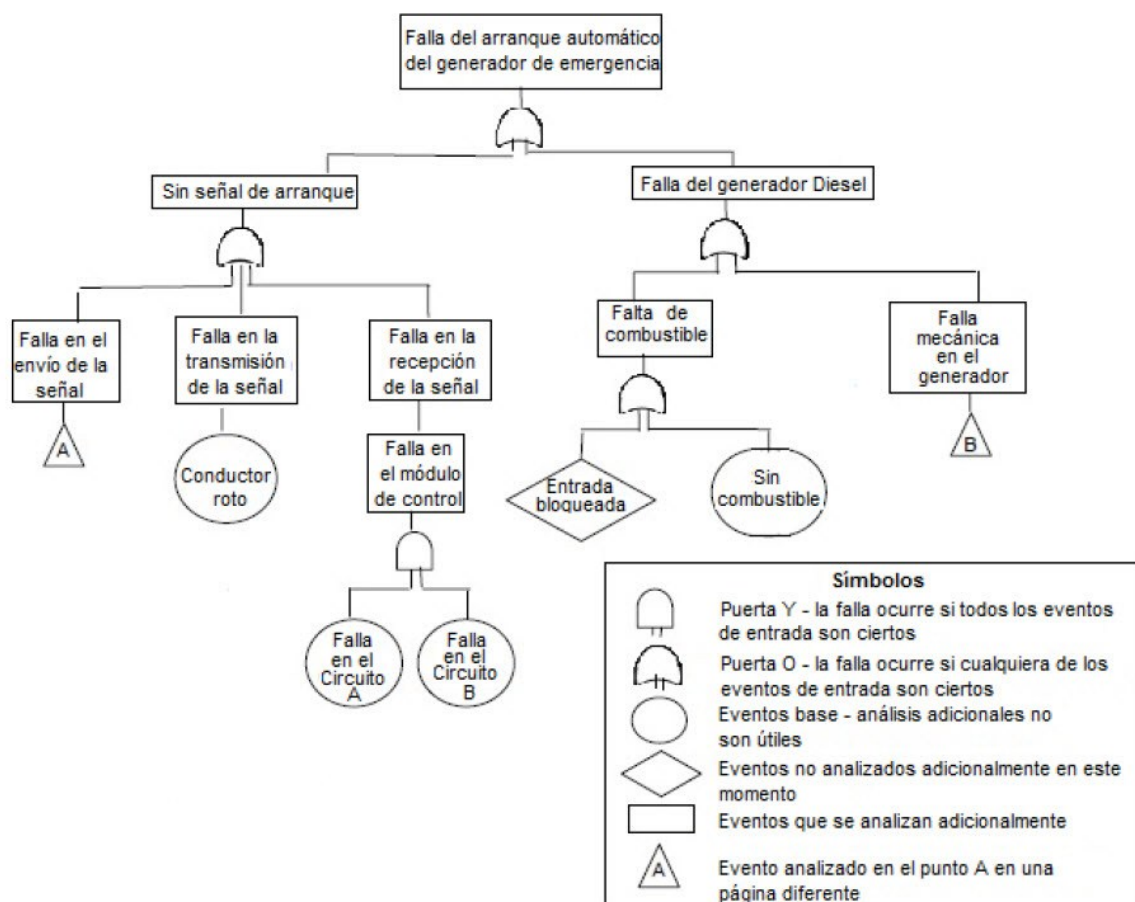
3) MÉTODOS DE BASE

El método BowTie se puede encuadrar dentro de los modelos o enfoques de la seguridad basado en barreras.

El método BowTie es una técnica de análisis de peligros que es una combinación de un análisis de árbol de fallos (FTA) y un análisis de árbol de eventos (ETA).

El análisis de árbol de fallos (FTA) identifica eventos que pueden conducir a un accidente, mientras que el análisis de árbol de eventos (ETA) identifica las secuencias de eventos desde los eventos iniciadores hasta los escenarios de accidentes.

El análisis del árbol de fallas (Fault Tree Analysis o FTA) es un análisis de falla deductivo en el que se analiza un estado no deseado de un sistema utilizando la lógica Booleana para conjugar una serie de eventos de bajo nivel.



IEC 2063709

Figura B.2 - Ejemplo de un FTA según norma IEC 60300-3-9

El método de árbol de eventos (Event Tree Analysis o ETA) o análisis de secuencias de sucesos, es un método inductivo de izquierda a derecha que describe la evolución de un suceso iniciador sobre la base de la respuesta de distintos sistemas tecnológicos o condiciones externas. Partiendo del suceso iniciador y considerando los factores condicionantes involucrados, el árbol describe las secuencias accidentales que conducen a distintos eventos.

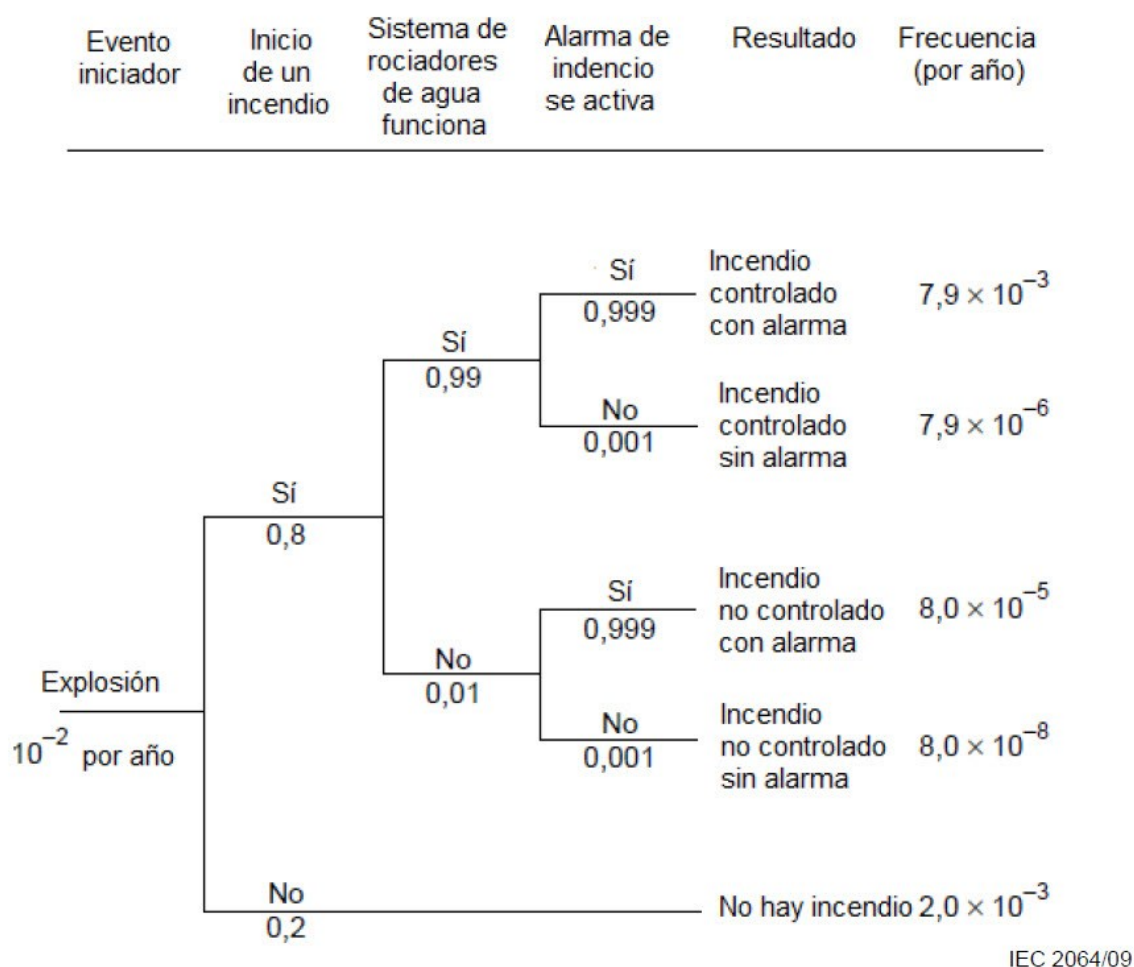


Figura B.3 - Ejemplo de un árbol de eventos

Estas dos herramientas estudian partes distintas del mismo evento y son por lo tanto herramientas complementarias. Tanto el FTA como el ETA son métodos del tipo cuantitativos, pero el punto realmente interesante sobre estos es cuando se aplican desde una óptica cualitativa como en el caso del método BowTie.

Otro modelo que también es de base para el método BowTie es el modelo del queso suizo. Este modelo fue propuesto originalmente por James T. Reason de la Universidad de Mánchester y se ha ganado una amplia aceptación. A veces se llama el modelo del efecto acumulativo.

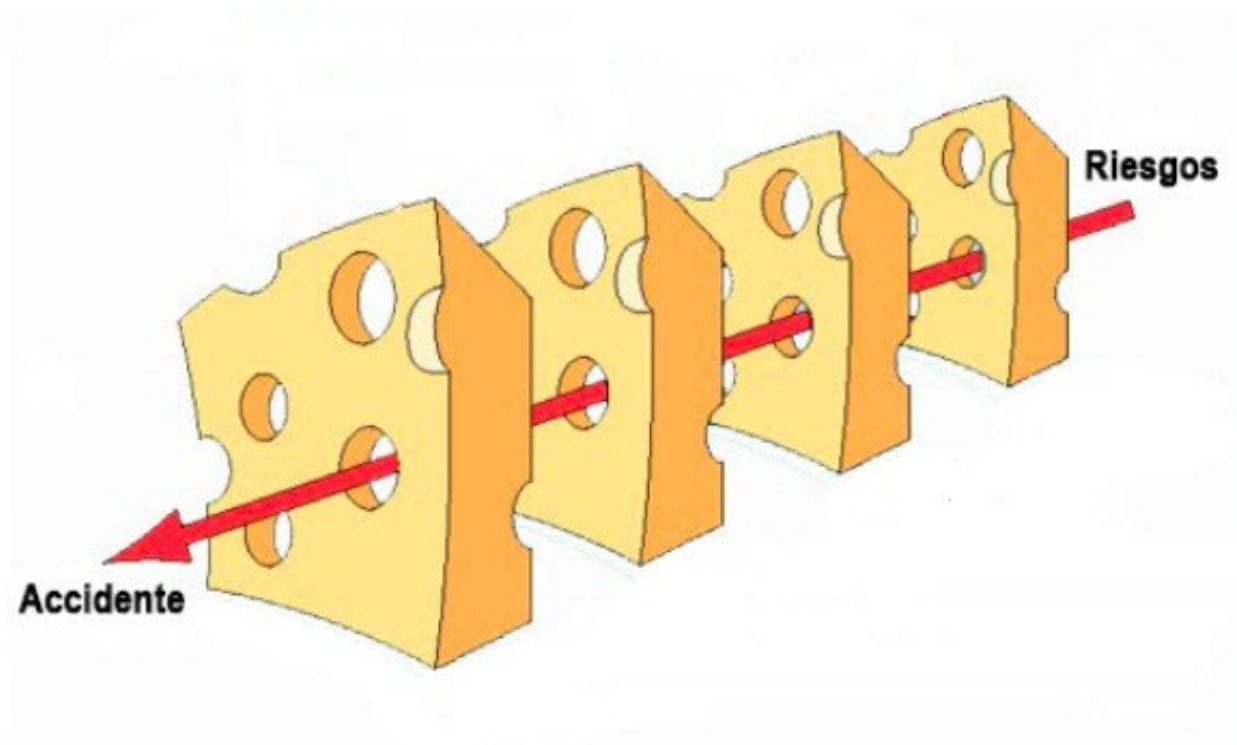
El modelo del Queso Suizo es una herramienta representada gráficamente mediante una secuencia lineal de trozos de queso (que representan a ciertos dominios o defensas de un sistema organizacional) y sus respectivos agujeros (a modo de fallas o quiebres de dichas defensas).

El modelo Reason explica que un accidente es la consecuencia final de una superposición de fallas, desde la última línea de defensa, pasando por el acto inseguro, la condición insegura, la falla de la supervisión, la falla de la asesoría (seguridad) y, finalmente, la falla de la organización.

Existe un paralelismo con el modelo de las fichas de dominó o el efecto dominó, pero en vez de fichas que se caen golpeándose unas con otras, estas fichas están reemplazadas por rebanadas de queso suizo (queso con agujeritos en su interior) que representan las fallas de cada elemento de la seguridad.

Como los agujeros (es decir los fallos de cada barrera) en el queso Suizo se forman de manera aleatoria, no es fácil que se alineen varios agujeros, por tanto a más rebanadas de queso mayor es el nivel de seguridad. El eje del evento accidente puede atravesar uno o dos agujeros, pero difícilmente pueda atravesar a todos, en teoría obviamente.

De acuerdo a cada intérprete y analista del modelo, cada rebanada, que representa una barrera de seguridad, toma nombres diferentes.



La visualización simultánea de todas las causas y consecuencias heredadas de la combinación de las herramientas FTA y ETA sumado al pensamiento basado en las barreras del queso suizo, da como resultado la metodología propuesta.

4) ¿QUÉ ES LA METODOLOGÍA BOWTIE?

El método de BowTie es un método de análisis de los peligros, que se usa para analizar y definir escenarios.

El método toma su nombre de la forma del diagrama que se crea, que se parece al corbatín o moño que usan o usaban habitualmente los hombre.

Un diagrama BowTie hace principalmente dos cosas:

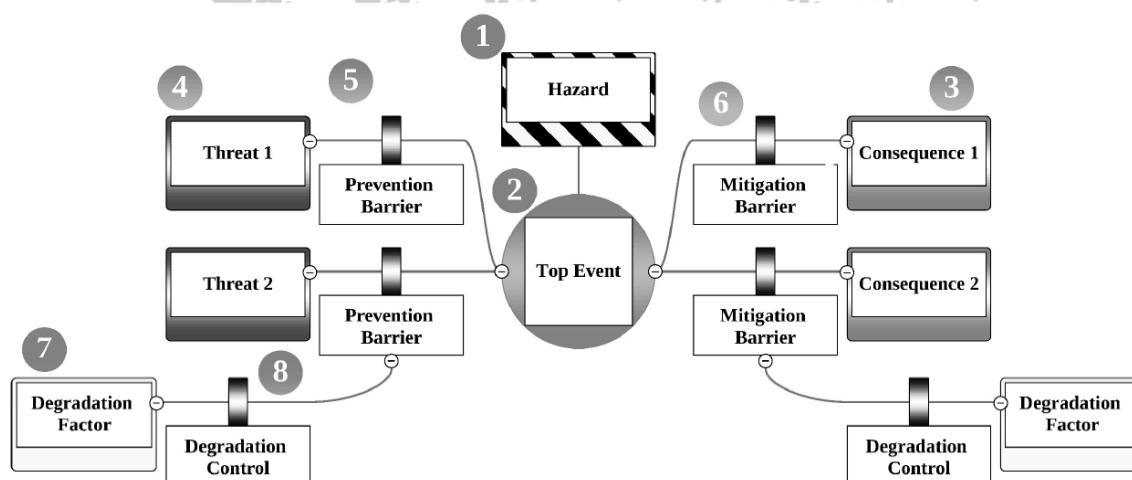
- En primer lugar ofrece una visión de todos los escenarios de incidentes posibles que podrían existir en torno a un determinado peligro.
- En segundo lugar, presenta lo que hace la organización para controlar esos escenarios mediante la identificación de barreras de seguridad.

El método BowTie es una técnica de análisis causal que permite entender en profundidad todas las causas de un peligro y llegar a sus causas raíz.

El método BowTie no es una técnica de identificación de peligros ya que no ayuda a la identificación de los peligros, sino que es una herramienta que ayuda a analizarlos una vez identificados y definir su tratamiento.

El método BowTie tampoco es una herramienta para la evaluación ni valoración del nivel riesgo, ni del tipo cualitativa y mucho menos del tipo cuantitativa. No prioriza ni valoriza ni sopesa el valor de intervención de las barreras de control.

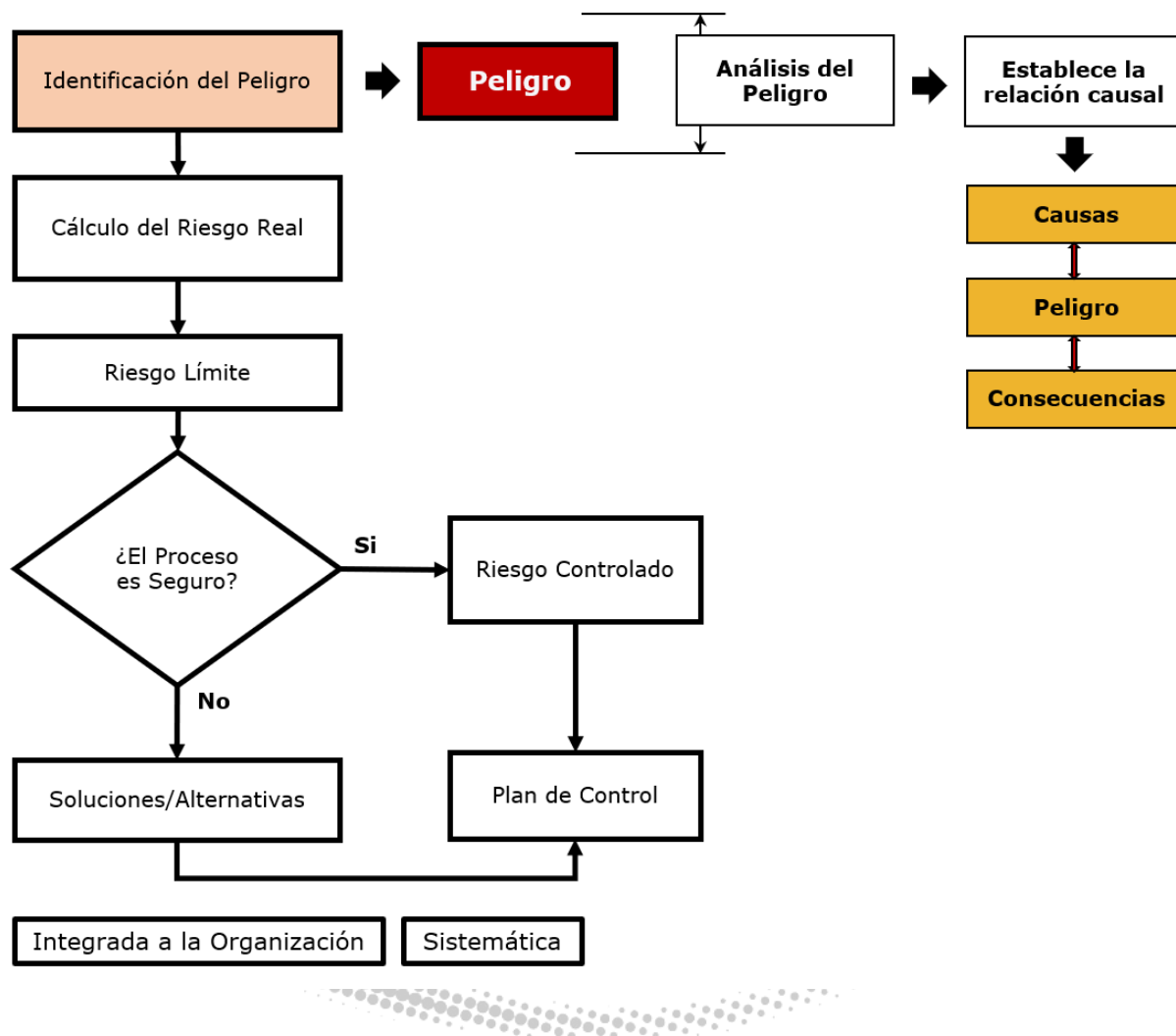
El método es del tipo gráfico, describe y establece las causas y consecuencias de un evento no deseado, y define las barreras preventivas para evitar que una causa conduzca al denominado “evento límite” (evento no deseado) y las barreras de mitigación dispuestas para disminuir la probabilidad o severidad de la consecuencia potencial.



El método BowTie permite dar una buena descripción de la situación actual de los peligros en estudio para que las personas pueden entender más fácilmente la relación entre esos peligros y los eventos que se pueden desencadenar el daño, los eventos que pueden controlar el nivel de daño o mitigar los mismos.

El método BowTie se puede combinar con métodos de evaluación del riesgos, como por ejemplo una matriz de riesgos, para categorizar los distintos controles de los

diferentes escenarios planteados, para luego llevar a cabo un análisis más detallado de las fallas y eventos, determinando los de más alto riesgo.



5) PROS Y CONTRAS DEL MÉTODO BOWTIE²

5.1) Los Pro del Método BowTie

Las ventajas del método se pueden resumir en las siguientes:

² Sobre la base de <https://lilianabuchtik.com/herramienta-bow-tie/>

- Permite ver, generalmente en una sola página, a un peligro con sus causas, las medidas preventivas de control y las medidas mitigadoras con los controles que tratan los impactos.
- Es una representación gráfica, con lo cual hace fácil presentar y comunicar el peligro y su tratamiento.
- Es muy intuitivo.
- Permite hacer un buen análisis causal cuando el peligro es conocido y hay suficiente conocimiento de sus causas e impactos.
- Es fácil de confeccionar por trabajadores sin un alto nivel de preparación en métodos de análisis de riesgos.
- Recomendable para ser desarrollado por grupos multidisciplinarios y multisectoriales.
- Permite la gestión de peligros clasificados como mayores.
- Recomendable para desarrollar los controles en un proceso de investigación de accidente de trabajo.
- Está alineado con la ejecución de auditorías de sistemas de gestión (tareas críticas de seguridad).

5.2) Contras del Método BowTie

Las desventajas del método se pueden resumir en las siguientes:

- Requiere muchas horas de trabajo para su elaboración ya que se tiende a profundizar en profundidad en el análisis.
- Muchas veces se pierde el foco bajando a muchas causas, 10, 20 o a veces incluso más, y luego se pierde el foco del Pareto, del 20% de las causas que sí pueden provocar el 80% del impacto del riesgo.

- Puede llevar a tener peligros o eventos de análisis muy genéricos y no específicos, ya que se puede caer en querer en un solo evento agrupar muchos temas.
- No es un método apto para ser desarrollado en forma individual.
- No detecta peligros ni situaciones que ocasionan daño.
- No define ni establece la importancia o incidencia de las causas establecidas ni de las medidas de mitigación en el evento en análisis.

5.3) Cuándo Debería Aplicarse

El método se puede usar en las siguientes situaciones:

- Los peligros son conocidos, es decir, hay un alto conocimiento de sus causas e impactos. Se da en entornos de una buena certidumbre.
- Para peligros críticos operacionales extremos, que son los que necesitan un análisis más detallado y profundo de las causas e impactos.
- En los peligros que requieren ir a muy bajo nivel como por ejemplo, los relacionados a la salud y seguridad ocupacional.

5.4) Cuándo No Debería Aplicarse

El método no se aconseja usar en las siguientes situaciones:

- Los peligros son poco conocidos, es decir, hay muy poco conocimiento de sus causas e impactos, o se da en entornos de alta incertidumbre.
Por ejemplo, un riesgo de pandemia al inicio de la misma. Cuando el COVID surgió, inicialmente no se conocía mucho sobre su comportamiento, si afectaba solo a mayores o también a niños, cómo afectaba, si había o no tratamiento o cuándo iba a haber un tratamiento.

- Para peligros con un nivel de riesgo bajo generalmente no justifica hacer un BowTie.

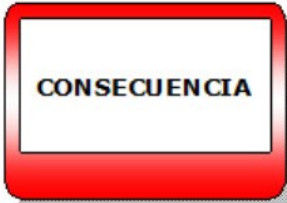
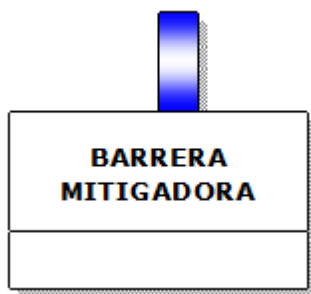
La relación costo/beneficio no lo compensa. Puede ser muy costoso en términos de horas de trabajo. Por eso en estos casos debería ser opcional y a criterio del dueño del peligro ver si es necesario o no crearlo.

- Para peligros que son muy dinámicos o de corta duración, como algunos peligros que se presentan en obras o proyectos.

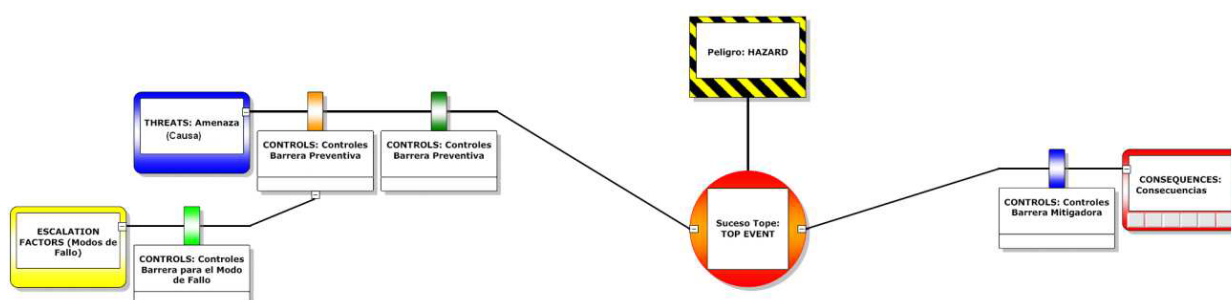
Generalmente la inversión en horas de trabajo de un BowTie justifica para peligros que son permanentes y recurrentes, que se va perfeccionando el BowTie con el paso del tiempo incorporando las lecciones aprendidas. Por eso es más común ver su uso en peligros operacionales que en peligros presentes en contratos de obra o proyectos.

6) ELEMENTOS DEL MODELO BOWTIE

Símbolo	Denominación		Ejemplo
	Peligro o Hazard	Propiedad intrínseca de un proceso, situación o condición que representa una fuente potencial de daño.	León
	Evento Límite	Suceso específico y concreto que puede sucederle a ese peligro y que desencadena el daño. Un mismo peligro puede desencadenar múltiples eventos diferentes.	Escape del león

	Causa o amenaza	Causa directa que podría ocasionar la aparición del evento límite.	Falla en la cerradura de la jaula
	Consecuencia	Suceso o cadena de sucesos que se produce como resultado de la aparición del evento límite.	Visitantes lastimados o sacrificio del león
	Barrera Preventiva	Medidas de prevención dispuestas para impedir que surjan las amenazas que conducen al evento límite.	Cierre automático de la puerta. Alarma de puerta abierta.
	Barrera Mitigadora	Cualquier medida técnica, operacional u organizativa que evita que el evento límite produzca las consecuencias. Actúa sobre la severidad de las consecuencias.	Arma con dardos adormecedores.
	Factor de Agravamiento o de Escalamiento	Condición que puede anular o reducir la efectividad o fiabilidad de una barrera preventiva o mitigadora. Asociados por lo general a factores humanos y organizacionales.	Elemento extraño en la puerta que impide el cierre automático.

 Control degradación	Control del Factor de Agravamiento	Controles que se establecen para manejar los factores de agravamiento. Estos controles están asociados generalmente a los elementos del sistema de gestión de la seguridad.	Control de objetos extraños en la zona del marco de la puerta.
---	---	--	---



Representación esquemática del diagrama BowTie

7) ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS DEL BOWTIE

La representación BowTie gira en torno al elemento denominado evento límite. A partir de aquí, la construcción se centra en las causas hacia la izquierda del evento límite, y las consecuencias hacia la derecha.

Las controles o barreras completan el esquema. En el lado izquierdo se les llama medidas de control y en el lado derecho medidas de recuperación o mitigación.

Las medidas de control son medidas preventivas que eliminan la causa por completo o evitan que la causa produzca la recuperación del evento límite.

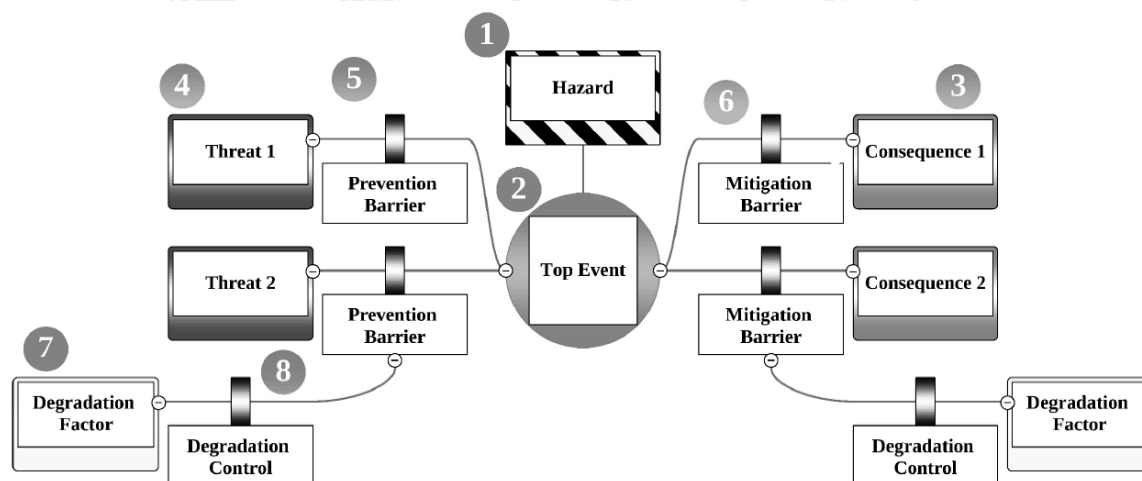
Las medidas de recuperación o mitigación reducen la severidad de la consecuencia o mitigan la gravedad de la consecuencia.

Una vez que se identifican los controles o barreras, el método avanza a identificar las formas en las que la barrera pueden fallar. Estos factores o condiciones se denominan factores de escalada.

También existen barreras para los factores de escalada, por lo que también existe un tipo especial de barrera llamada barrera de factor de escalada, que tiene un efecto indirecto pero crucial sobre el peligro principal.

Se puede resolver el modelo de dos formas distintas: de izquierda a derecha o de derecha a izquierda, es decir, analizando primero las causas o las consecuencias. Ambas formas son iguales de correctas porque, por un lado, al detectar las causas que originan el evento límite se puede hacer un camino directo hacia la consecuencia que se pueden dar lugar. Por otro lado, si primero se identifican las consecuencias generadas de dicho evento límite es más fácil identificar cuáles son las causas que ha dado lugar dicha consecuencia.

El siguiente es un esquema del diagrama BowTie con todos sus elementos identificados.



Elementos básicos de un diagrama BowTie

7.1) Peligro/Hazard

El peligro es un ente, una situación, una condición, una operación, una actividad, un material, etc., que tiene la capacidad de causar daño a algo o alguien.

Son presentados en el diagrama con el fin de proporcionar información sobre la fuente principal del daño.

Para poder formular el peligro de forma correcta hay que tener en cuenta algunos aspectos.

- **La función del peligro es definir el alcance de todo el modelo BowTie.**

Los peligros definidos de forma genérica van a dar lugar a modelos BowTie genéricos; por lo que el peligro debe ser específico. Esto tiende a agregar valor porque aumenta el nivel de detalle del resto del estudio.

- **Se debe describir al peligro en su estado controlado.**

Para la descripción del peligro en el diagrama, éste tiene que estar descrito de una forma controlada.

Un peligro describe algo que es potencialmente dañino, pero no la pérdida de control sobre el mismo.

Por ejemplo, en el caso de un tanque de almacenamiento de nafta, el peligro no puede describirse como *"sobrellenado del tanque"* porque éste es un hecho descontrolado y describe al evento límite. La forma correcta de definir al peligro sería *"tanque de almacenamiento de nafta"*.

Una forma útil de saber si el peligro está bien definido es hacerse la siguiente pregunta: *"¿El peligro, tal y como está definido, forma parte del proceso normal?"*. Si es así, está bien definido; por el contrario, habría que reformularlo.

- **Definir detalles del peligro para determinar alcance.**

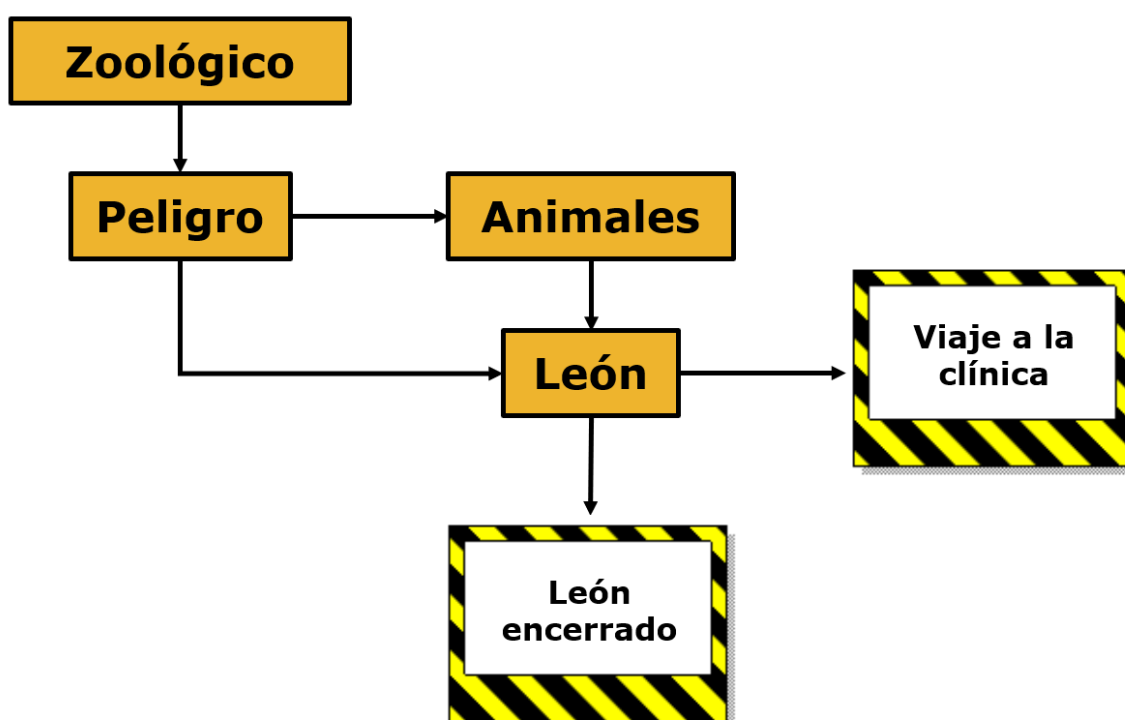
Cuanto mejor definido esté el peligro, más útil y más preciso será el BowTie desarrollado. El nivel de detalle del diagrama será mayor cuanto más precisa sea la descripción del peligro.

El peligro debe ser ubicado en su estado más elevado y a partir de ahí empezar a darle ubicabilidad al mismo.

Por ejemplo, si nos situamos en un zoológico, cada animal representa un peligro distinto ¿Por qué? Porque podemos concluir que éstos pueden ocasionar daños a sus cuidadores y al público en general, y también salir ellos mismos lastimados o afectados. Con este ejemplo no se está apoyando la vida

de animales salvajes encerrados en zoológicos, sólo permite usarlo como ejemplo.

Se puede identificar al LEÓN como un peligro, por lo tanto el Hazard/Peligro = León, el león así pelado, sin adjetivos y sin apelativos; este animal por sus propias características tiene la capacidad dañar a las personas que lo visitan. Se debe seguir profundizando, dado que con decir LEÓN no alcanza, se debe empezar a “ubicar” y describir el peligro respondiendo a la pregunta: “¿Cómo se encuentra el león en el zoológico? ¿Cómo es la situación normal de león en el zoológico?” La respuesta podría ser: “león enjaulado o león en un área semi abierta.” También se puede pensar que este animal en algún momento llegó al zoológico y fue descargado del transporte o que debe ser llevado a una clínica para estudios específicos, etc. Un mismo peligro puede ser ubicado en distintas situaciones, todas posibles de ser analizadas.



Un ejemplo del tipo más técnicos lo representa el “tanque almacenamiento de nafta”, pero también se puede partir directamente del peligro “nafta” e ir

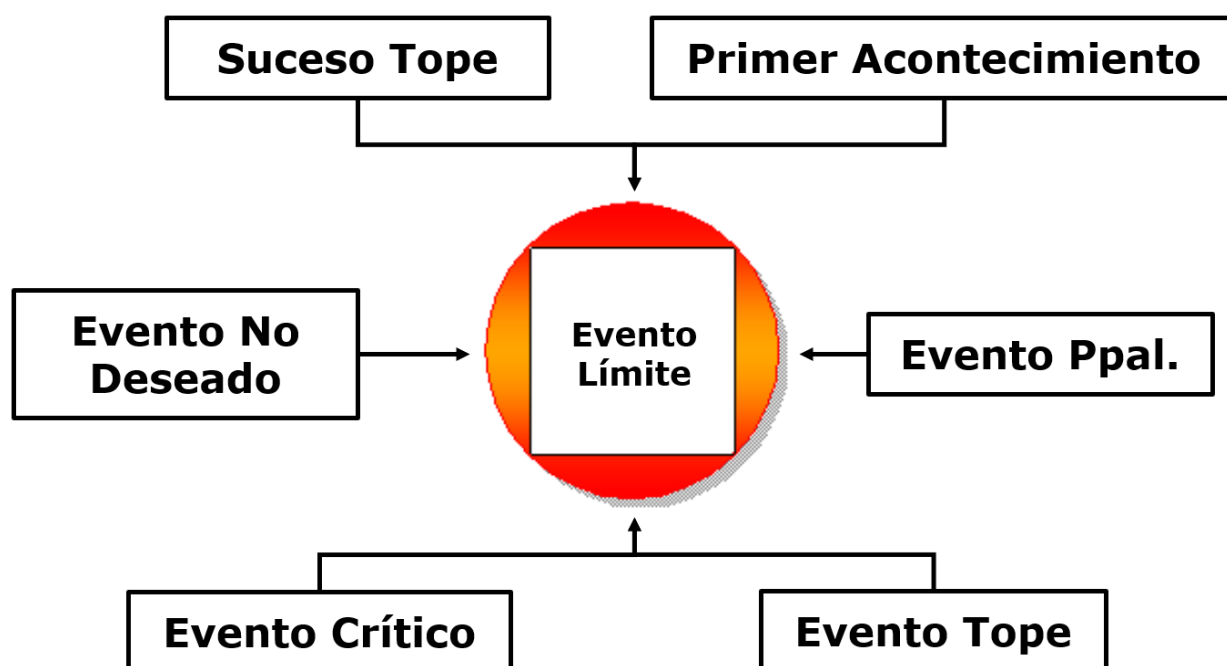
analizando y buscando a éste elemento por toda la fábrica y en cada lugar definir que se hace con éste elemento, por ejemplo: descarga de nafta a los tanques, transporte interno de nafta, depósito de nafta, fraccionamiento de nafta, expendio de nafta, etc.

Ubicar al peligro en su estado más elevado permite visualizar que el diagrama puede tener otras ramificaciones para seguir estudiando.

El método BowTie permite igualmente prescindir de la identificación del peligro base y partir directamente del evento o suceso límite.

7.2) Evento Límite

Este evento se ubica en el centro del diagrama. También llamado evento o suceso top, evento crítico, evento principal, evento no deseado, o primer acontecimiento. Es lo que se quiere evitar que suceda porque si no se controla aparece el daño que se quiere evitar.



El evento límite se corresponde con el momento en el que se pierde el control sobre el peligro, es decir, el peligro da lugar al daño, se libera el peligro o el peligro se concreta en el daño potencial que este puede provocar.

Siempre que un peligro esté controlado, está en su estado deseado, representa un potencial de daño, pero el daño, por diversas situaciones no se ha manifestado.

Por ejemplo: tanque de almacenamiento de nafta. Ciertos acontecimientos pueden causar que el peligro se libere, que el tanque de nafta rebalse o desborde, y en el método BowTie este evento es llamado el evento límite, no hay daño todavía, todavía no hay impacto negativo considerable, o el daño es aceptable o este es inminente, pero las características del peligro están abiertas si no se lo controla a tiempo.

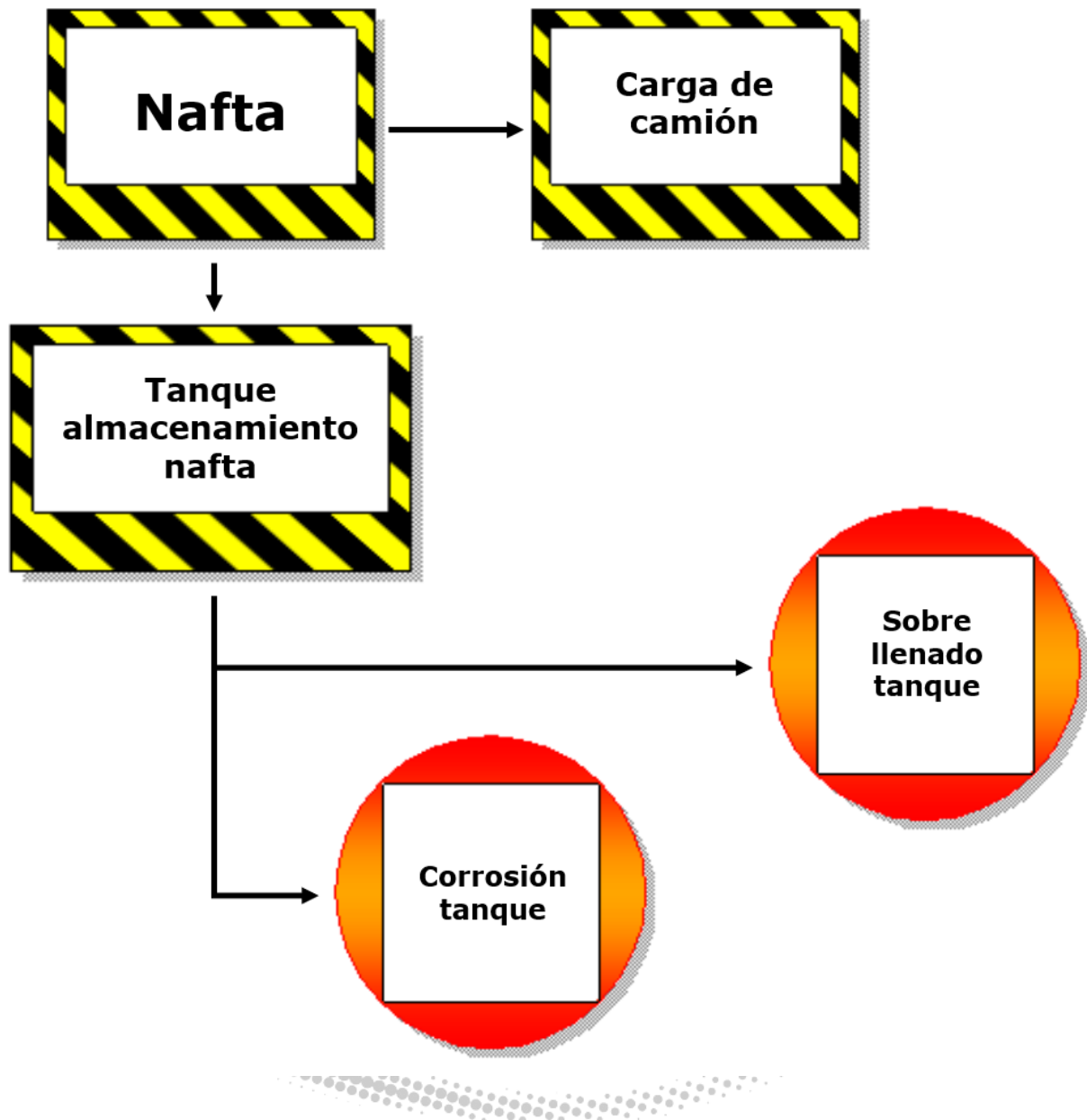
Esto significa que el evento límite se elige justo antes de que los eventos comiencen a causar daño real o significativo.

¿Cuál es el momento exacto en que se pierde el control?

Esta es en gran medida una elección subjetiva y pragmática. Por ejemplo: si el nivel de nafta sobrepasa el nivel máximo permitido para el tanque, todavía esa situación no representa un desastre mayor, pero si no es solucionado correctamente puede tener como resultado algunos otros acontecimientos no deseados a los cuales se los denomina consecuencias.

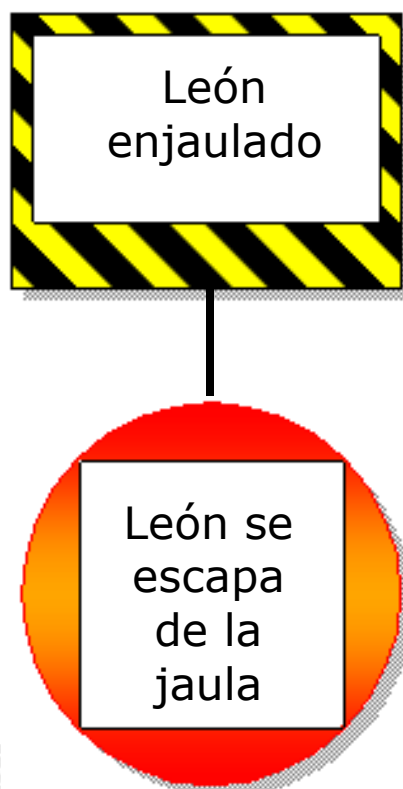
Es posible identificar diversos eventos límite para un mismo peligro, por lo tanto, es posible tener varios BowTie, cada uno para un evento límite específico, pero con el mismo peligro de base.

Se puede identificar varios eventos límite diferentes para la nafta almacenada en el tanque como pueden ser *"sobrellenado del tanque"* o *"corrosión del tanque"*, *"descarga atmosférica sobre la zona del tanque"*, entre otros.



Si nos ubicamos nuevamente en el zoológico y especialmente con el león enjaulado, un evento límite que se querría evitar sería que “*el león se escape de su jaula*”, porque si se escapa de la jaula donde está confinado y controlado puede dañar a los visitantes indefensos. Otros eventos límites con el león enjaulado serían: limpieza de la jaula, alimentarlo, atención veterinaria, etc.

La pregunta a responder es ¿*Qué se quiere evitar que le suceda a...*?



Concluyendo, el evento límite es esa situación que se quiere evitar que suceda, porque a partir de ahí sobreviene el daño.

El evento límite no es una consecuencia. Es importante no confundir un evento límite con una consecuencia originada por dicho evento, ya que lo que se tiene que desarrollar es una pérdida de control sobre el peligro.

7.3) Causas

Se ubican del lado izquierdo del diagrama. También llamadas como amenazas. Son las causas por las cuales se da la pérdida de control del peligro que conducen al evento límite.

Para poder formular las causas de forma correcta hay que tener en cuenta algunos aspectos:

- Normalmente existen varias causas para un mismo evento límite, cada una representando un único escenario que podría conducir directa e independientemente a la pérdida de control.

Un ejemplo una causa para el rebalse o desbordamiento del tanque de nafta es *"Falla en el sensor de máxima capacidad"* o *"El volumen a cargar excede la capacidad residual"*.

- Las causas deben ser descriptas de manera específica.

Para que una causa sea específica, la relación entre ella y evento límite debe quedar lo suficientemente claro como para que no requiera de ninguna explicación adicional.

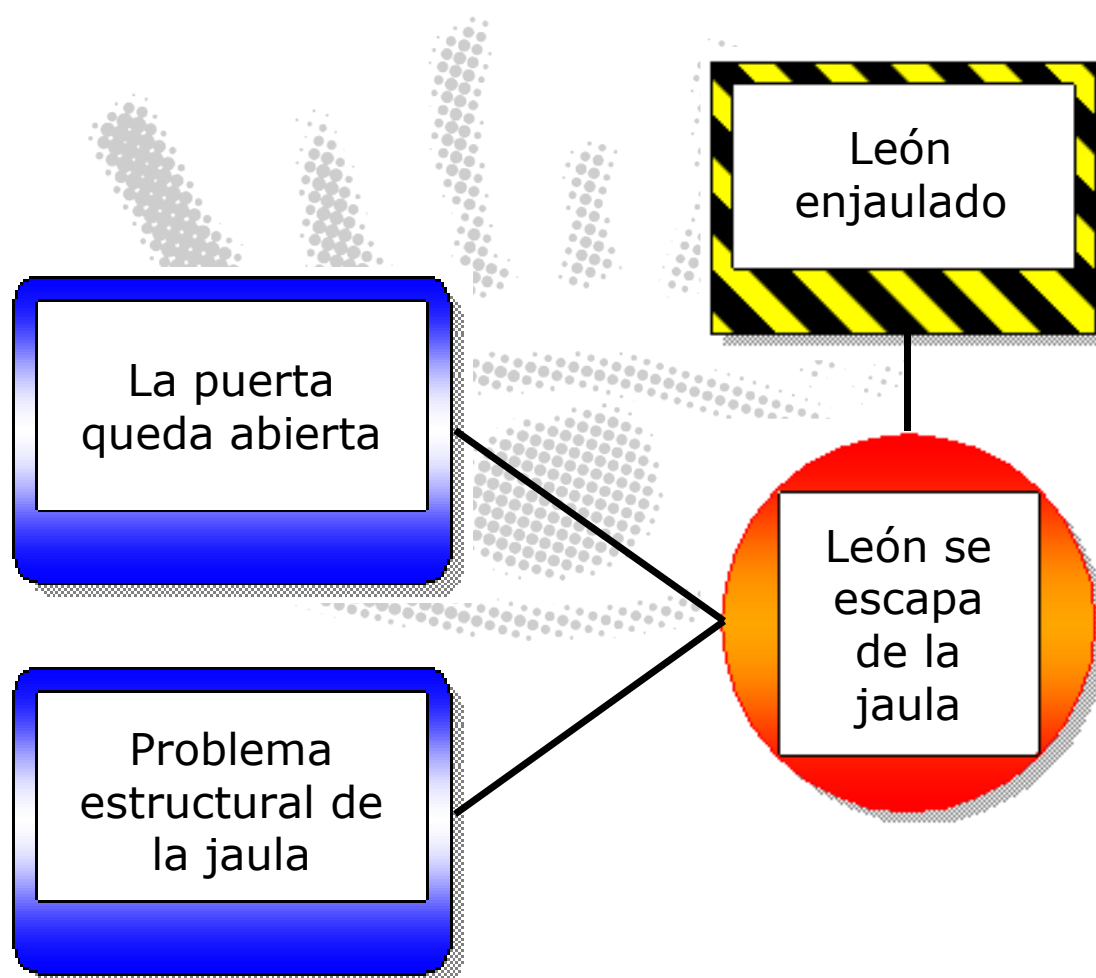
Por ejemplo, ante un evento no deseado como puede ser *"pérdida de control de vehículo"*, una causa sería *"conducir por una carretera resbaladiza"*. Sin embargo, no se podría decir *"condiciones climáticas adversas"*, puesto que realmente no se está dejando clara la causa.

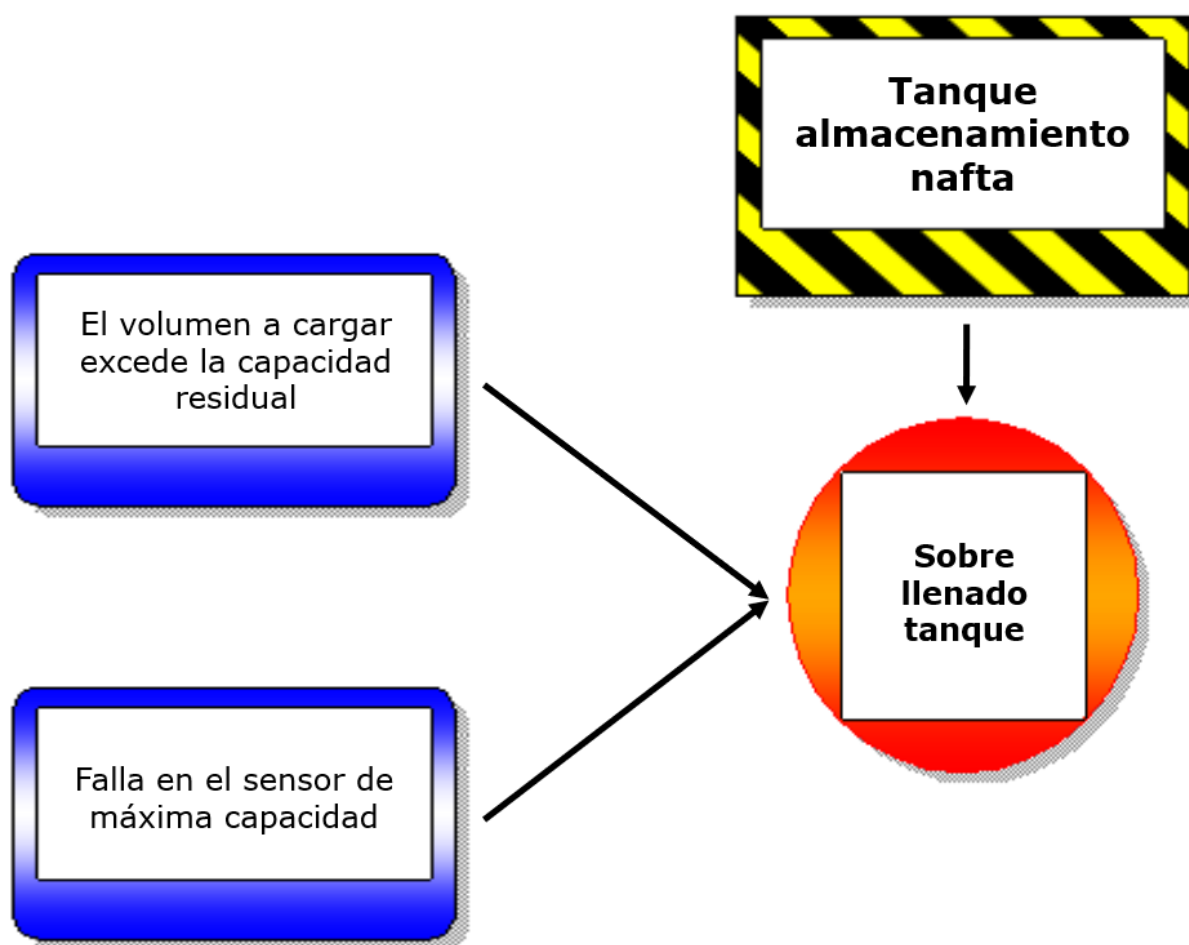
Causas más específicas ayudan a la determinación de barreras de prevención más específicas. Barreras de prevención más específicas brindan mejor información que conduce a una adecuada comprensión de lo que se debe hacer para evitar que una causa actúe sobre el peligro para producir un evento límite. En el caso mencionado anteriormente, una barrera de prevención para una carretera resbaladiza será mucho más efectiva que una barrera dedicada a condiciones climatológicas adversas, que podría incluir desde lluvia torrencial, vientos fuertes, granizo, nieve, etc.

- El error humano no debe confundirse con una causa. Por lo general, el error humano se considera como una barrera de degradación de las barreras de prevención.
- Se deben agregar todas las causas, incluso aquellas que rara vez ocurren o que pueden estar cubiertas por alguna barrera de prevención referida a otra causa.

Se deben agregar todas las causas creíbles, indistintamente de la probabilidad de ocurrencia, para facilitar las decisiones sobre si existen suficientes barreras de prevención de suficiente fuerza para controlar la causa en particular. Cuando las causas utilicen barreras de prevención idénticas, estas se pueden combinar en una única causa.

- Cada causa debería bastarse por sí sola para poder llegar a desencadenar el evento límite, eso es independencia. En el caso de no ser así y requerir una combinación con otra causa, ésta no debería estar incluida en el diagrama y se debe tratar de unificarlas en una sola causa.





7.4) Consecuencias

Se ubican del lado derecho del diagrama. Las consecuencias son el resultado no deseado que surgen del evento límite fuera de control o la pérdida de contención, como suelen llamarlo algunos autores.

Cuando un evento límite aparece, éste puede llevar a que ocurran determinadas consecuencias propias de ese peligro. Una consecuencia es un acontecimiento potencial que resulta de la liberación del peligro que causa directamente la pérdida o el daño.

"Las consecuencias en la metodología de BowTie son acontecimientos no deseados que una organización quiere evitar por todos los medios."

Se quieren evitar las consecuencias que potencialmente puede producir un peligro cuando se dan determinadas condiciones.

Para poder formular las consecuencias de un modo correcto hay que tener en cuenta que:

- Un evento límite pueda tener múltiples consecuencias, pero en general solo se analizan las consecuencias más relevantes, aunque en realidad se pueden incluir todas las pérdidas.

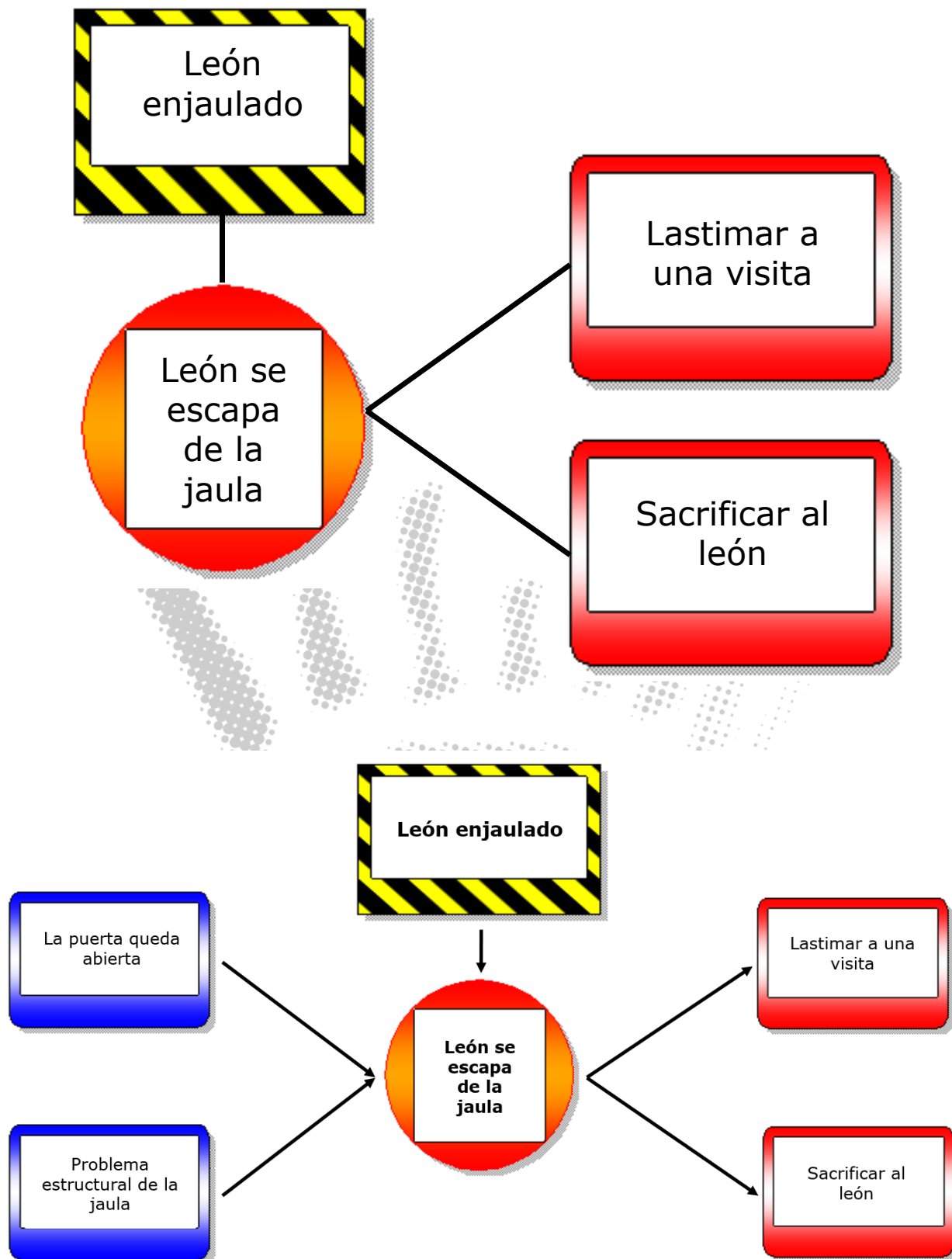
Se pueden plasmar en el diagrama consecuencias de menor importancia si lo que se busca es un mapeo general que cubra barreras de todo tipo: ambientales, económicas y de seguridad.

Se recomienda incluir todas las consecuencias por más insignificantes que puedan parecer en un principio.

- Existen consecuencias relacionadas a la seguridad, a la salud, al medioambiente, a la comunidad, legales, de imagen corporativa, etc.
- Al revisar un diagrama BowTie, si surge que algunas consecuencias son iguales, podrían combinarse, a no ser que sea de interés que se encuentren separadas.

Por lo general, es más fácil combinar las consecuencias una vez se haya avanzado en el diagrama, que al principio, puesto que en ese momento pueden ser demasiado genéricas.

- No se deben dejar pasar las consecuencias que se corresponden a los escenarios de mayor riesgo y que, por tanto, tienen que ser evitados a toda costa.
- Hay que definir de forma detallada las consecuencias. Es un error muy común definir las consecuencias de forma muy genérica. Aunque “daños a personas” o “daños ambientales” sean consecuencias, éstas son demasiado genéricas como para poder actuar de forma efectiva sobre ellas.



7.5) Barreras

Las barreras o medidas de prevención y mitigación, están enfocadas hacia el control de peligro. Se usan para evitar las pérdidas que provoca un peligro fuera de control. Las barreras se colocan para impedir que ciertos acontecimientos no deseados ocurran.

Existen dos tipos de barreras:

- **Barreras preventivas**

Se ubican en el lado izquierdo del evento límite y que tienen como función impedir que se produzca el evento no deseado.

- **Barreras reactivas o de mitigación**

Ubicadas en el lado derecho del evento límite y que impiden que el evento no deseado resulte en consecuencias que se quieren evitar o que éstas evolucionen a daños más grandes o catastróficos.

Se coloca una barrera en el lugar del diagrama donde cumple su función. Como ejemplo, si el evento límite es una *"pérdida de contención"* y el *"fuego"* una consecuencia, el *"sistema automático de extinción de incendios"* como barrera se constituye en una barrera del tipo reactiva y solo es efectiva después del evento límite, por tanto, aparece en el lado derecho del diagrama.

Si una barrera evita el evento límite se debe colocar a la izquierda, siendo éstas las barreras de prevención, pero si actúa después del evento límite aparece a la derecha, y se denominan barreras de mitigación.

Las barreras de prevención y mitigación deben ser efectivas, independientes entre sí, y auditables, y si están activas deben contener todos los elementos para detectar, decidir y actuar.

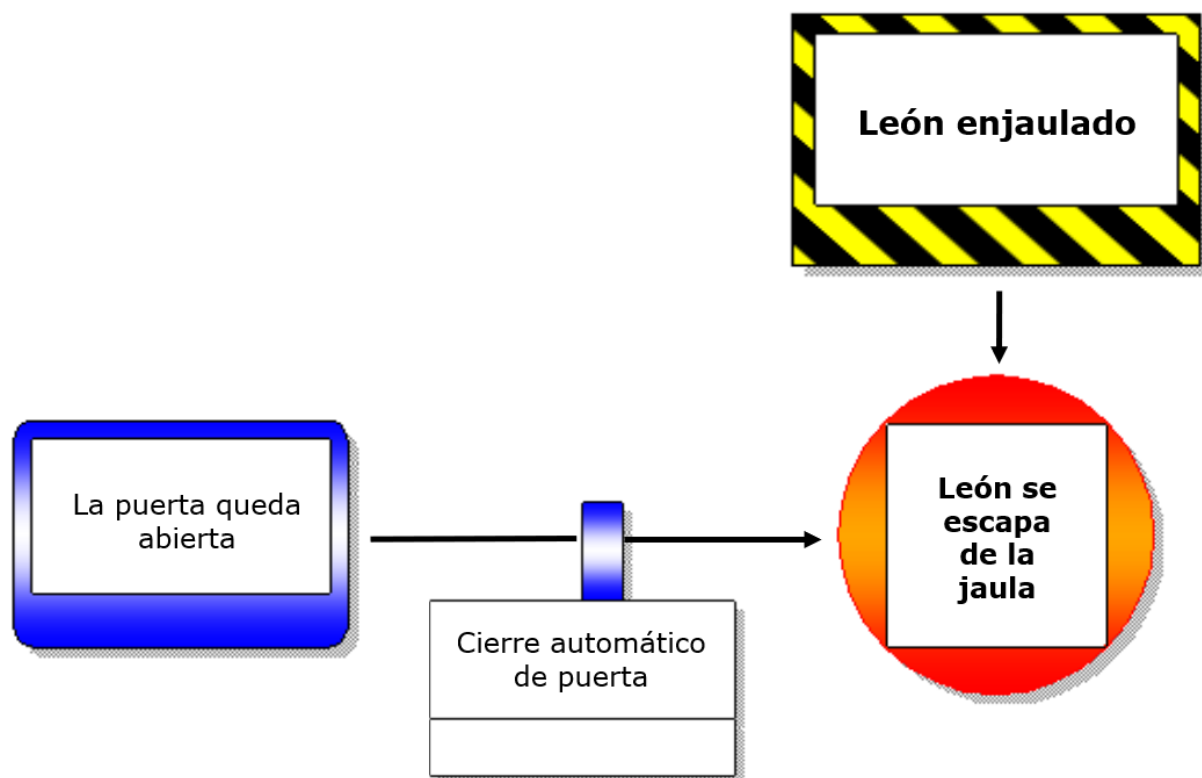
7.5.1) Barreras de Prevención

Son las que tienen la función de prevenir que ocurra el desenlace del evento límite. Se ubican en la zona izquierda del diagrama. Por cada causa se pueden establecer más de una barrera de prevención.

La barrera de prevención deben ser capaz de detener por completo el evento límite por sí sola o reducir la probabilidad de que se materialice.

Hay dos formas principales en las que las barreras de prevención tienen efecto:

1. Evitar que una causa ocurra.
2. Evitar que una causa ya ocurrida desencadene en el evento límite.

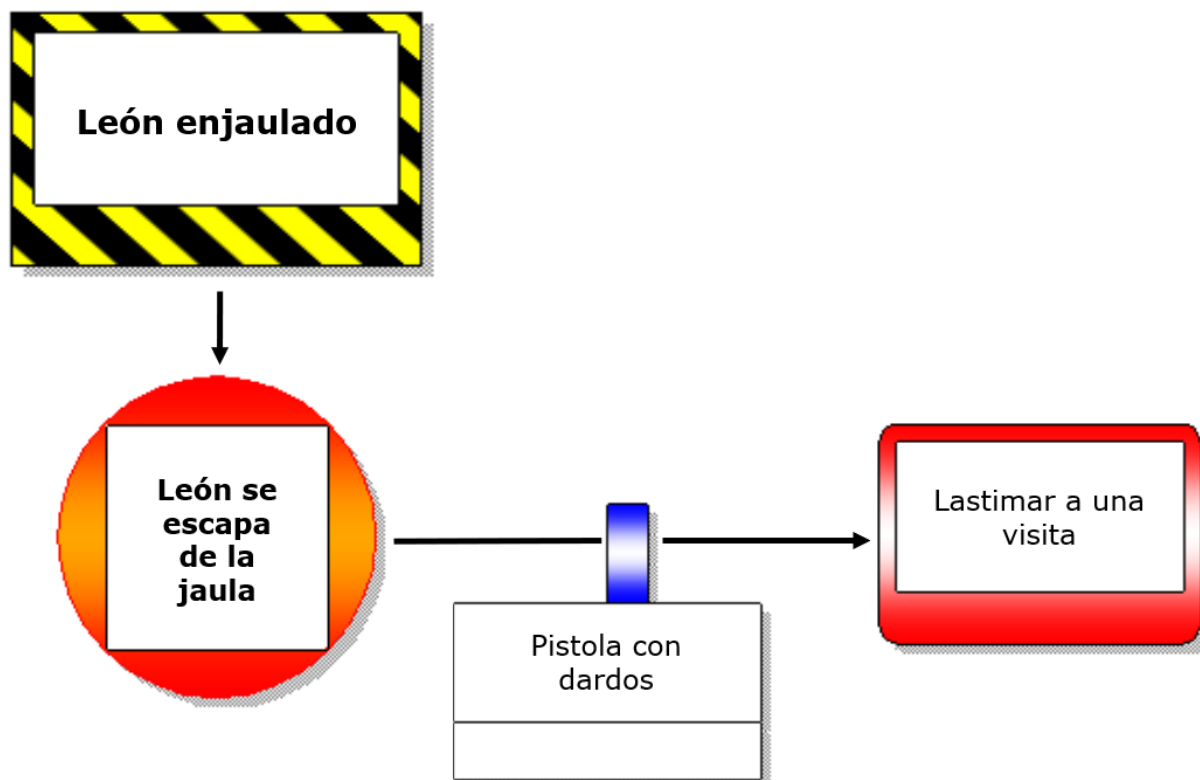


7.5.2) Barreras de Mitigación

También llamadas barreras de recuperación. Se emplean después de que ha ocurrido el evento límite y permiten mitigar el daño potencial o real.

Se ubican en la zona derecha del diagrama. Estas barreras pueden evitar que ocurran las consecuencias o reducir y controlar la magnitud de estas.

Las barreras de mitigación son medidas técnicas, operacionales y organizacionales que limitan la cadena de consecuencias derivadas del evento límite.



7.5.3) Reglas de Validación para las Barreras

Las barreras pueden ser del tipo técnicas o llamadas comúnmente del tipo ingenieriles, y del tipo humanas u organizacionales.

Las barreras deben cumplir con las siguientes tres condiciones:

- **Efectiva**

La barrera debe prevenir la consecuencia cuando funciona como está planificado.

Una barrera efectiva debe considerar los siguientes tres elementos:

- Un detector: detecta la condición que requiere acción.
- Un resolvidor lógico: decide qué acción a tomar.
- Un actuador: acción tomada para asumir la condición.

- **Independiente**

La barrera es independiente del evento límite, y del componente de cualquier otra barrera ya validada para la misma condición.

Las barreras no pueden ser consideradas independientes una de la otra si hay una causa común de falla.

- **Auditable**

La barrera debe poder ser evaluada para asegurar que puede operar correctamente cuando es requerida.

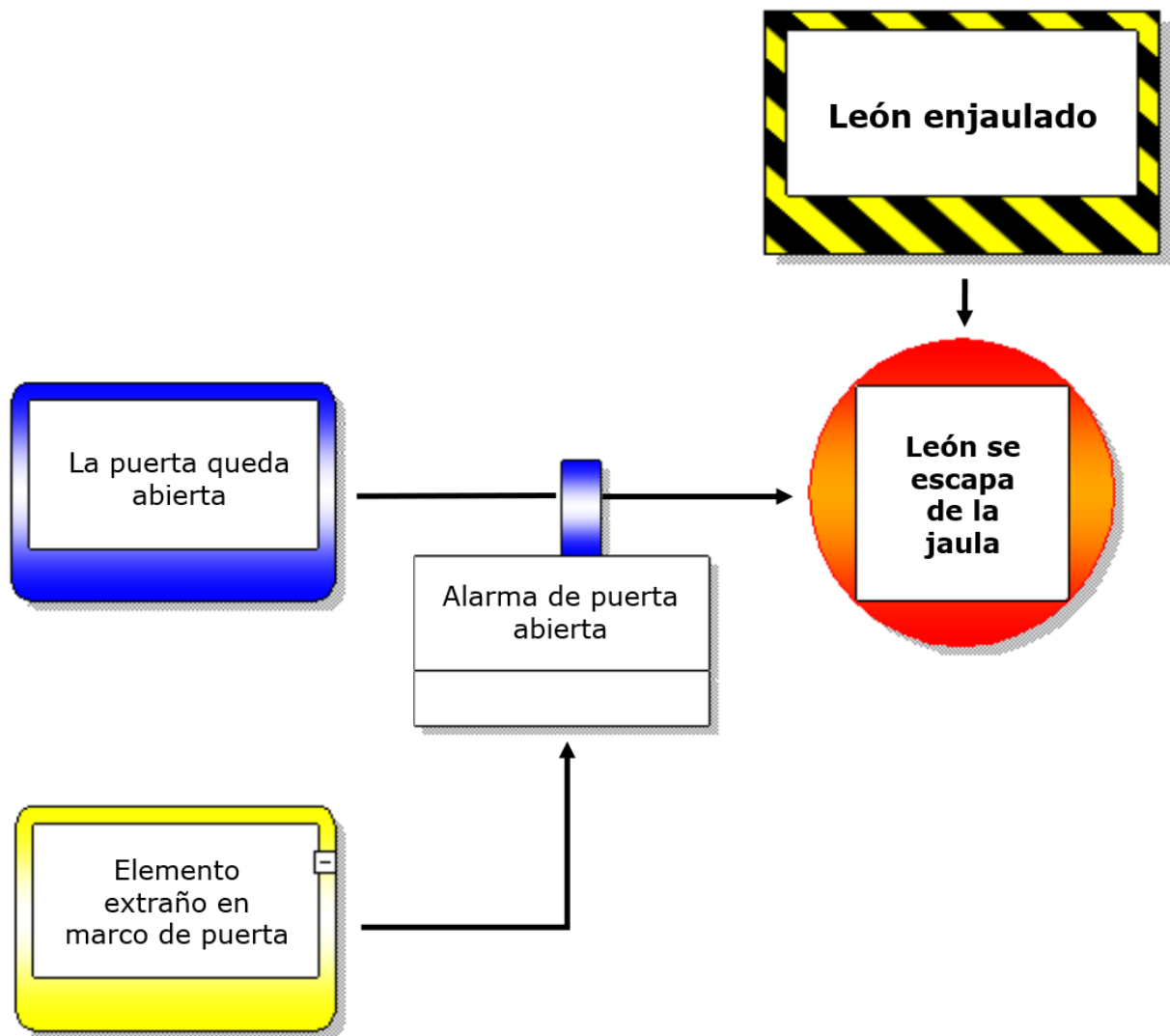
7.6) Factores de Degradación

También conocido como factor de escalamiento. Es una condición o causa directa que puede reducir la efectividad debilitando alguna de las barreras. Es una condición que lleva a incrementar el riesgo debido a la pérdida o evasión de las barreras, o de la preparación de las medidas de recuperación.

Un factor de degradación no causará directamente el evento límite o la consecuencia, pero puede aumentar la probabilidad de que estas ocurran al degradar la barrera.

El análisis de cada medida de control o de mitigación en busca de “debilidades” debe hacerse cada vez que se incorpora una medida al diagrama BowTie.

Los factores de degradación se pueden aplicar tanto a las causas como a las consecuencias, es decir, a ambos lados del diagrama.

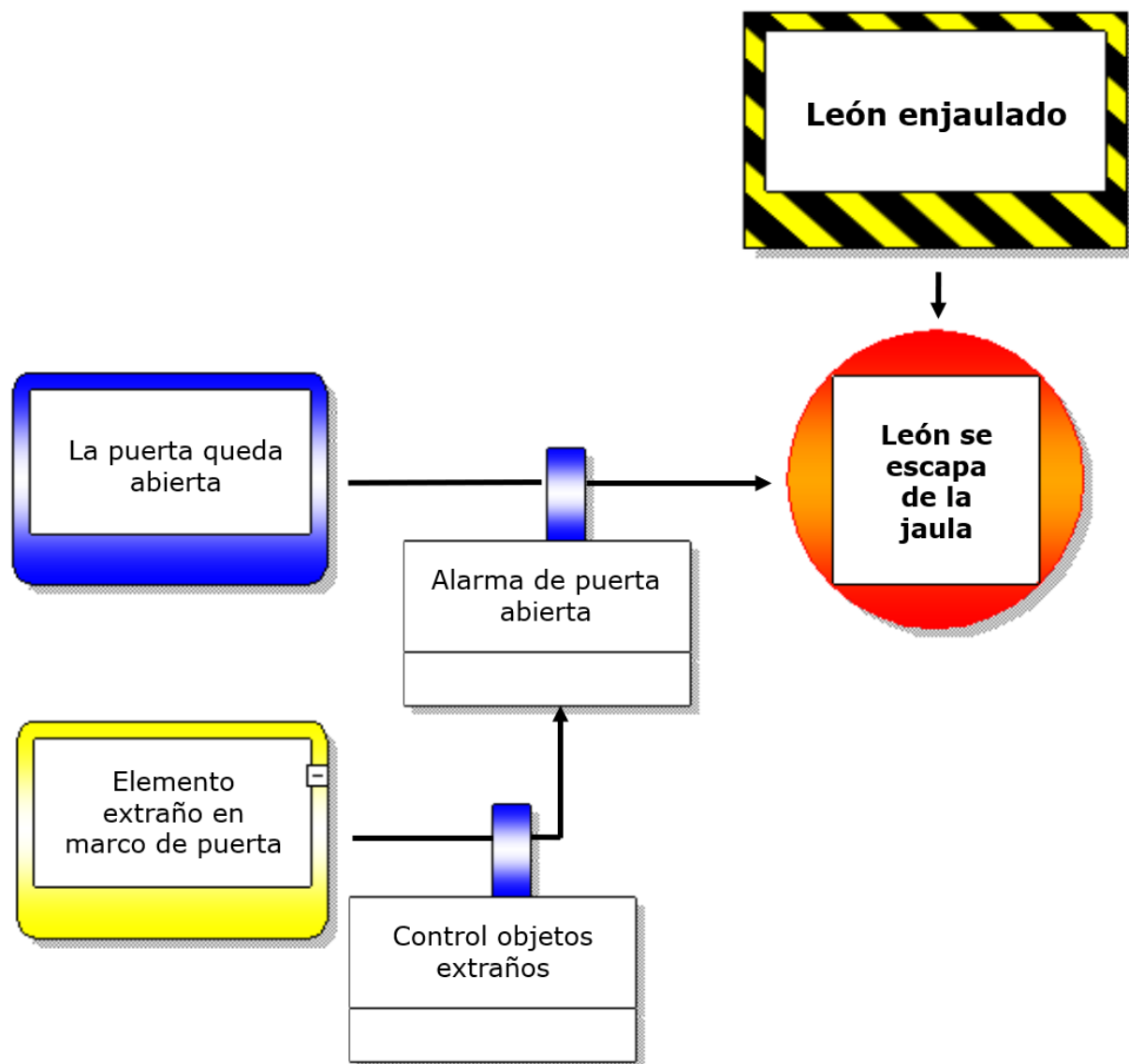


7.7) Controles de Degradación

Son las medidas que controlan a los factores de degradación y evitan que estos afecten negativamente a las barreras de prevención y mitigación.

Por ejemplo, si se tuviese el evento límite "pérdida del control del vehículo", con una consecuencia "impacto interno del conductor en el vehículo", una barrera para minimizar dicha consecuencia podría ser "usar cinturón de seguridad". Sin embargo, esta barrera podría llevar un factor de degradación bastante común en los conductores, que sería "olvidar de ponerse el cinturón de seguridad", el cual hace que la barrera pierda efectividad ante la consecuencia. Para poder subsanar dicho factor de degradación, se podría colocar en el diagrama un control de degradación

para así eliminar el efecto del factor de degradación sobre la barrera, como podría ser “cinturón de seguridad con alarma”.



Los controles de degradación reducen la probabilidad de que no funcione una barrera y brindan una mayor confianza en que las barreras harán su trabajo de manera efectiva.

Los controles de degradación se encuentran a lo largo de las vías de degradación hacia esa barrera donde ayudan a vencer el factor de degradación. Además, solo deben aparecer en las vías de degradación, ya que no evitan un evento superior ni mitigan una consecuencia directamente.

8) CONSTRUCCIÓN DEL DIAGRAMA BOWTIE

No hay una única forma para empezar a elaborar el diagrama, se puede comenzar directamente en un pizarra a dibujar e ir bosquejando y construyendo el diagrama; con un software especializado; o en una plantilla con las columnas de cada elemento, y despues pasar la tabla al diagrama.

Peligro				
Causas	Barreras de Control	Evento Límite	Barreras de Mitigación	Consecuencias

Nota: Se pueden agregar los factores de escalamiento y las respectivas barreras.

La secuencia de pasos para elaborar el diagrama es la siguiente:

- Identificar el peligro.
- Determinar el o los eventos límites para el peligro en estudio, definido como el punto en el que se pierde el control del peligro.
Se debe identificar la actividad bajo análisis que se representa como el nudo central del diagrama.
- Identificar las causas.
- Para cada causa es necesario identificar los controles preventivos.
- Se debe identificar las barreras dispuestas para prevenir cada causa que lleva a una consecuencia indeseada.
- Identificar las diferentes consecuencias.
- Evaluar las consecuencias.

- Para cada consecuencia es necesario establecer controles o barreras de recuperación.
- Identificar los factores que pueden conducir a una escalada e incluirlos en el diagrama.
- Identificar controles de escala para evitar los factores de escala.

BIBLIOGRAFÍA

- Norma ISO 31.010:2009. Gestión del Riesgo - Técnicas de Evaluación del Riesgo.
- Manual de autoinstrucción BOWTIE. Editorial Asociación Peruana de Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente.
- Inspiración del BowTie. Gestión de Controles Críticos. Editorial "metodologia_bowtie".
- Guía para la Realización de Análisis de Riesgos en los Servicios de Radioterapia. Julio 2017. Editorial FORO.
- Metodología BowTie. Gestión de Riesgos de Well Control. Editorial IAPG.
- Metodología BowTie: Análisis y Gestión de Riesgos. Editorial Positiva Educa.
- Los Análisis Hazid y Hazop en la Evaluación Formal de Seguridad. Propuestas de Mejora. Trabajo Final de Grado. Facultat de Nàutica de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya. Trabajo Realizado por: Daniel Sánchez Sánchez.
- Propuesta de un Plan de Gestión de Riesgo en el Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS) de la Universidad de América Utilizando las Herramientas de Análisis de Riesgo What If, Hazop y la Metodología BowTie. Proyecto de Grado para Optar al Título de Ingeniero Químico. Mariana Espitia. Velandia Mateo. Steven Vargas Jimenez.

- Aplicación del Método de BowTie para la Evaluación de Seguridad en la Práctica de Perfilaje de Pozos. Centro Nacional De Seguridad Nuclear (CNSN). Alfonso Paliarés, C. Pérez Reyes, y Sarabia Molina.
- Análisis de Riesgos Asociados a las Operaciones de Carga y Descarga de Material de Buque en la Empresa Puerto Ventanas S.A (PVSA). Universidad Técnica Federico Santa María. Sede Viña Del Mar – José Miguel Carrera. Trabajo de Titulación para Optar al Título Profesional de Ingeniero en Prevención de Riesgos Laborales y Ambientales. Alumno: Nelson Bernal López
- El rol del BowTie en la Gestión de la Seguridad. Elaborado por: Tema Litoclean S.A.C. Fecha: Octubre 2019.
- Sistema de Gestión de la Seguridad Operacional: Guías para los Operadores Aéreos. Número: Infs-2014/001/1.0. Fecha de Emisión: 01/02/2014.
- Implementación de la metodología BOW TIE para la prevención de accidentes e incidentes por desprendimiento de rocas, Unidad Minera Yauricocha. Universidad Continental. Facultad de Ingeniería. Juan Luis Perez Huaynalaya. Huancayo, 2021.
- Aplicación de la Herramienta BOWTIE para la Identificación y Gestión de los Riesgos en Instalaciones de Procesos. Dpto. Ingeniería Química y Ambiental. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla. Sevilla, 2021. Autor: Andrés Muñoz Arjona. Trabajo Fin de Máster. Máster en Ingeniería Química.