

***DISEÑO, SIMULACIÓN, OPTIMIZACIÓN Y
SEGURIDAD DE PROCESOS***

PARTE III

ANÁLISIS DE RIESGOS.

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACION DE CONSECUENCIAS.

Dr. Nicolás José Scenna

Dr. Nestor Hugo Rodríguez

Dr. Juan Ignacio Manassaldi

I. ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA INGENIERÍA DE LA CONFIABILIDAD

La ingeniería de la Confiabilidad en un sentido amplio, como hemos mencionado, abarca diversos aspectos o campos disciplinares. Es transversal -en cuanto a sus aplicaciones- a toda actividad, en particular la tecnológica. Toda tecnología debe ser, entre otros aspectos o atributos, segura y confiable. Toda profesión relacionada con cualquier rama de la ingeniería, tarde o temprano nos exigirá que estemos familiarizados con las distintas ramas o componentes de la ingeniería de la confiabilidad, y sus aplicaciones.

Aquí fundamentalmente nos interesa la Ingeniería de Procesos. Según ha sido expuesto en las secciones anteriores, hemos remarcado que resulta fundamental tanto en los aspectos de diseño (diseño seguro, diseño basado en riesgo) como en la operabilidad de procesos (seguridad en la operación, evaluación de confiabilidad o disponibilidad de los componentes, los equipos y/o los procesos -por ejemplo, para gerenciar el sistema de mantenimiento-).

Desde el punto de vista específico de la vulnerabilidad del entorno, debido a los peligros inherentes a cada proceso en operación, hemos mencionado que todo sistema está sujeto a fallas, y que dichos eventos pueden desencadenar consecuencias, cuya magnitud y características dependerán de las condiciones particulares del momento y el lugar en que se encuentre la planta o el sistema (en el transporte de sustancias peligrosas, la cisterna se mueve a lo largo de una trayectoria, por ejemplo).

Por lo tanto, la vulnerabilidad del entorno circundante, o potencialmente afectado, será diferente según los distintos escenarios que puedan suceder, a partir de la falla en cuestión (derrame, por ejemplo). En efecto, hemos manifestado que un tipo de *peligro* relevante es la pérdida de contenido en equipos de proceso. Dado un agujero en un tanque provocado por alguna circunstancia (*incidente*), puede producirse (según sea su diámetro, la naturaleza de la sustancia, las condiciones atmosféricas y las características del entorno) una fuga hacia la atmósfera caracterizada por su caudal, el tipo de sustancia involucrada, su estado (una fase, mezcla, solución, etc), la presión del contenedor, la temperatura, entre otras variables de interés.

Dado este contexto, y dado el escenario de fuga, existirán *potencialmente*, desde ninguna consecuencia, hasta aquellas muy graves (*estudios de consecuencias o vulnerabilidad del entorno*). Nótese el agregado "*potencialmente*". Esto se debe a que -dado un escenario de fuga-, puede construirse un árbol cuyas ramas (a partir del origen) representan una sucesión causal de eventos (potencial, en el sentido de posibilidad, o probabilidad), cuya manifestación

real dependerá de cuestiones aleatorias. Es decir, del estado en el preciso momento de la ocurrencia del evento fuga, de dichas variables aleatorias. Por ejemplo, la “existencia o no de viento” -es decir su dirección, velocidad-, del valor de la temperatura, de la presión atmosférica y las características de estabilidad atmosférica, entre otros parámetros que pueden tomar cualquier valor según una función de distribución de probabilidades que se asume conocida. Además, depende de cada localización geográfica y del momento del día. Por ejemplo, noche o día.

Por lo tanto, no sabemos de antemano o “a priori”, que sucederá, solo el conjunto posible de todos los eventos que puedan darse; según su probabilidad asociada (*árbol de eventos*). *Nótese que la propia causa u origen del árbol de eventos, en este caso, un agujero en un tanque que provoca una fuga, también es un hecho asociado a una distribución de probabilidades (el tipo de ruptura caracterizada por el tamaño de agujero).*

Si la sustancia es inocua (se conoce, es un dato), y almacenada a presiones cercanas a la atmosférica (dato), probablemente solo habrá pérdidas económicas como consecuencias de tal incidente o escenario de fuga acaecido. *Si fuera un vapor o un gas inflamable pero no tóxico (dato)*, pueden suceder distintos escenarios (*solo podemos “desarrollarlo por análisis, el árbol de posibles eventos”, y conocer para cada rama o posibilidad, su probabilidad asociada*). Se tienen entonces situaciones tales como “solo difusión sin ninguna otra consecuencia”, dado que no existen fuentes que inflamen la mezcla (probabilidad asociada). O bien *una explosión, si se alcanzan concentraciones características de inflamabilidad de la mezcla en aire, y existen “puntos calientes”* que permiten inflamar a la mezcla (probabilidad asociada). Finalmente, si la fuga fuese directamente en la atmósfera, y sin instalaciones en los alrededores, sería “no confinada”. Mientras que si la difusión se desarrolla en las inmediaciones de instalaciones (por ejemplo, un gas pesado que se distribuye entre los equipos e instalaciones aledañas) sería una explosión “confinada”, que generalmente resulta más dañina que la otra alternativa (probabilidad asociada).

En resumen, los árboles de eventos suelen ser tediosos de desarrollar, aunque en general existen detallados en la bibliografía árboles típicos para cada tipo de posibilidades/anomalías, que puedan ocurrir en la industria de procesos. De igual forma, existen diversas fuentes para obtener las probabilidades asociadas a cada tipo de evento (distintos bancos o bases de datos de fallas para la industria de procesos).

En el desarrollo precedente, hemos descrito las características de las potenciales anomalías que pueden manifestarse en procesos en operación (peligros), su potencial manifesta-

ción como incidentes (no provocan consecuencias) o bien la posibilidad de consecuencias relevantes (los potenciales escenarios accidentales se manifiestan a través de un conjunto potencial con probabilidades asociadas). No obstante, conocer/anticipar la eventual ocurrencia de un escenario accidental -por ejemplo: explosión (y su campo de sobrepresiones en los alrededores), incendio (campo de radiaciones), o un campo de concentraciones provocado por la difusión de una sustancia tóxica-; *no resulta suficiente para evaluar la vulnerabilidad del entorno*. En primer lugar, debido a que si estamos en una zona sin población aledaña -o tales consecuencias no afectan a las personas/poblaciones circundantes en función de la distancia a que se encuentran-; para tales personas no existirían consecuencias. Distinto es el caso para los trabajadores o los visitantes de la planta, o bien para quienes circulan en dicho momento en los alrededores del establecimiento fabril.

Con respecto al aspecto ambiental, los daños/vulnerabilidad deberán evaluarse según cada caso en particular. Las instalaciones, infraestructura, el ecosistema, tanto en el interior como en el exterior del complejo fabril. Según sea la densidad poblacional, o las características del entorno, en derredor de la planta pueden existir instalaciones de diverso tipo, rutas muy transitadas, o bien otras industrias y proveedores de servicios, en caso de un parque industrial, por ejemplo.

En el caso de los efectos sobre los trabajadores, existen normativas específicas. En el área de la “Higiene y Seguridad en el trabajo”, se cubren los aspectos que protegen a la integridad física de los trabajadores en el corto y largo plazo en relación con su trabajo en condiciones “normales o deseables”, o “anormales o indeseables”. En general, la relación hombre-máquina es muy diversa según el tipo de actividades que se realicen. Para industrias químicas o bien otras catalogadas como “peligrosas” -según las sustancias manipuladas (nuclear, por ejemplo)-, existen normativas específicas. Un análisis de Riesgos integral nos permite analizar la vulnerabilidad de los operarios y los visitantes bajo condiciones de funcionamiento anómalas, es decir, escenarios accidentales debido a la operación de instalaciones específicas o bien del proceso en su conjunto. En general, en industrias de cierta envergadura, se dispone u organiza un área o gerencia que tiene a cargo integralmente las temáticas cuya normativa regulatoria tiene ciertos objetivos y/o metodologías de implementación en común: generalmente *calidad, ambiente y seguridad*. *Aquí, estamos enfocados en los aspectos del gerenciamiento de la seguridad de los procesos, tanto en su diseño como en su operación*.

En síntesis, los estudios de *análisis de riesgos* abarcan tanto la *identificación de los peligros*, independientemente de sus potenciales consecuencias, y por otro lado, *los estudios*

de vulnerabilidad, es decir, la evaluación de las consecuencias. *Es importante aclarar que es imprescindible identificar los peligros, ya que no se puede evaluar aquello que no se conoce.*

Es por ello que en general se denominan *métodos de identificación*, al conjunto de herramientas que permiten identificar los peligros, y *métodos de evaluación de consecuencias*, aquellos que, dados los peligros identificados, evalúan la vulnerabilidad del entorno integralmente, a partir del conjunto de árboles de eventos de cada una de las situaciones (anomalías) identificadas.

Otro aspecto importante es mencionar que en general, se suele denominar “análisis de riesgos” ya sea a cada una de las actividades mencionadas desarrolladas independientemente; o bien a la aplicación de ambas etapas secuencialmente, identificación y posterior evaluación.

Además, a menudo se mencionan estudios cualitativos y/o cuantitativos. Esto se refiere a la forma mediante la cual la evaluación es realizada. En cuanto a la etapa de identificación, es natural el uso de herramientas cualitativas, ya que se utilizan para el proceso con el cual se identifican los peligros. A diferencia de la evaluación de consecuencias o vulnerabilidad del entorno, que involucran el empleo de modelos apropiados para estimar numéricamente los campos de concentración, o radiación, o sobrepresiones (métodos cuantitativos).

Por otra parte, también puede crear confusión el hecho que para la evaluación de la vulnerabilidad del entorno a menudo se utilicen (para simplificar) “métodos o “criterios” cualitativos”; dado que los modelos rigurosos (cuantitativos) generalmente son muy complejos y requieren mucho tiempo de cómputo. Por ejemplo, no es igual obtener resultados de probabilidad de muerte dado un accidente según un valor numérico, que emplear metodologías que nos brinden un resultado discretizado según niveles “cualitativos” tales como probabilidad expresada mediante una escala discretizada de la forma: {muy alta, alta, media, baja, muy baja}. Dentro de este contexto, si bien los estudios de Análisis de Riesgos (Quantitative Risk Analysis -QRA-) en forma rigurosa implican el empleo de métodos numéricos, también existen metodologías que involucran criterios de evaluación, tanto de la vulnerabilidad como de las frecuencias (probabilidades de ocurrencia) cualitativos.

Resumiendo, el propósito de los estudios de análisis de riesgos es determinar niveles de riesgo, para lo cual es necesario considerar además de la ocurrencia de una o más fallas, sus efectos integrales o globales sobre el entorno -ya sea a los equipos, las instalaciones, la operabilidad, el ambiente, la población, etc-. El objetivo principalmente se orienta a identificar los peligros, determinar la frecuencia de ocurrencia de las anomalías o fallas potenciales

identificadas; y sus consecuencias -en términos de daños a la propiedad (instalaciones), al ambiente o a las personas, expresado en unidades adecuadas-.

El riesgo, por definición, es una *el producto de la frecuencia de ocurrencia por la consecuencia*, en unidades homogéneas. Por ejemplo, para el riesgo de muerte en un punto dado dentro de la zona de impacto dado un evento accidental:

$$\text{Riesgo} = (\text{eventos} / \text{año}) \times (\text{fatalidades} / \text{evento}) = (\text{fatalidades} / \text{año})$$

Nótese que si el producto de factores no es entre números (expresados en unidades homogéneas), y en cambio están expresados en valores cualitativos, como se verá más adelante, deberá definirse una matriz de riesgos que define tal producto “cualitativo” entre las frecuencias y las consecuencias (con dimensión igual a los niveles de discretización adoptados).

En general, como ejemplo de este tipo de estudios y su alcance, se podría considerar, por ejemplo, la realización de un análisis *para estimar la frecuencia con que se puede dar el calentamiento a niveles peligrosos de un reactor químico (reacción exotérmica) dado el mal funcionamiento de bombas, intercambiadores de calor, error de los operadores, fallas en el sistema de control.... servicios auxiliares, etc, que incidan en su normal funcionamiento*. Si este estudio se extendiera a incluir la frecuencia de ocurrencia de una explosión (a partir de dicha elevación peligrosa de la temperatura por diversas anomalías en el proceso), y extendemos dicho análisis para incluir las consecuencias -daños en términos de pérdidas humanas y de la propiedad, o el impacto al medioambiente-, podríamos estimar el riesgo asociado a cada factor vulnerable según los distintos impactos.

El resultado de este tipo de estudios, se expresa por ejemplo mediante un conjunto de sentencias tales como: *En el punto de coordenadas (x,y) el riesgo individual -probabilidad de muerte- esperado dada la explosión del reactor es de 10^{-6}* . En general, la definición del riesgo individual es la frecuencia a la cual un individuo puede esperar un determinado nivel de daño como consecuencia de la ocurrencia de un determinado suceso accidental (en este caso, muerte). *Entonces, la frecuencia anteriormente mencionada, se puede interpretar como (1 en un millón). Para tener un ejemplo de valores comparativos, el riesgo individual de morir en un accidente de carretera se admite que es del orden de 10^{-4} /año. O sea, 1 en 10.000, que obviamente resulta mucho mayor.*

II. METODOS DE IDENTIFICACION DE PELIGROS

Para ejecutar un estudio de riesgos se deben ejecutar varias etapas y utilizar distintas técnicas. No es el propósito aquí de explicarlas todas, ni tampoco profundizar demasiado en al-

guna de ellas. Nuestra intención es sólo presentar el problema, y describir de manera general algunas de las técnicas más utilizadas.

Fallas típicas, Causas

A modo de ejemplo, se mencionan a continuación (sin enfocar en un tipo de proceso en particular), algunos ejemplos acerca de situaciones de peligro que conforman una minúscula parte del universo existente; lo cual da una idea de la complejidad asociada al problema. Recordemos que cualquier método de identificación nos debe asegurar “completitud”, es decir, capacidad para identificar todos los peligros existentes; ya que, si no identificamos, es imposible que evaluemos lo que no se conoce, en la próxima etapa.

Entre las causas de los eventos de fallas o escenarios accidentales, que provocan diversas consecuencias, podemos citar situaciones anómalas de funcionamiento, factores naturales aleatorios, yerros humanos, entre otros; siendo éstos muy diversos y cuantiosos. Podemos a modo de ejemplo citar:

Eventos relacionados con los seres humanos:

- Un error del operador.
- Un error al diseñar.
- Un error en operaciones de mantenimiento.

Eventos relacionados con los equipos:

- Pérdidas de un fluido de una válvula, rotura de cañería, de tanques o equipos...
- Pérdidas de lubricación en un motor, rotura...
- Falla de provisión eléctrica, falla de controlares, medida incorrecta de un sensor...
- Roturas de instalaciones, cintas o tornillos de transporte, falla mecánica, otras..

Respecto de factores ambientales:

- Terremotos, Tormentas, inundaciones, tornados.
- Rayos, y como consecuencias incendios, explosiones, etc. En la actualidad se deben incorporar los aspectos correspondientes al cambio climático, en cuanto a la incorporación de nuevos peligros y la modificación de la frecuencia de ocurrencia de los mismos, en diferentes zonas geográficas.

A los efectos de no continuar con un listado que resulta muy largo y tedioso, basta con mencionar que las técnicas de identificación de peligros deben estar dotadas de *un método o motor de búsqueda efectivo, simple de aplicar y sistemático para generar el espacio global de secuencias o caminos a explorar para identificar anomalías en los sistemas analizados.*

Consecuencias de las Fallas

Como se ha mencionado, uno de los objetivos más importantes en los análisis de seguridad y confiabilidad es en primer lugar, reducir la probabilidad de ocurrencia de accidentes que atenten contra las vidas humanas, el ambiente y las pérdidas económicas. En segundo lugar, minimizar las consecuencias de tales eventos.

Desde un punto de vista general, pueden ser, según el grado de discretización o segregación que imponamos al análisis:

- *Muerte.*
- *Heridas graves, discapacidad transitoria o permanente*
- *Heridas leves*

Entre las pérdidas económicas, se pueden considerar, por ejemplo:

- *Corte del servicio o producción.*
- *Productos o servicios fuera de especificación.*
- *Pérdida de equipos y capital.*

Algunas consecuencias típicas sobre el ambiente:

- *contaminación del aire, suelo o agua.*
- *degradaciones del ambiente tales como olor, vibraciones, ruido.*
- *Contaminación del suelo*

Para evaluar la magnitud de las consecuencias, podemos definir grados de contaminación o de daño - en este caso considerados según una discretización cualitativa-. Por ejemplo: (nivel catastrófico, severo, daños menores, sin consecuencias), por ejemplo.

Es de notar que las consecuencias de los escenarios accidentales pueden ser numerosas, y no es el objetivo de tal enumeración aquí.

Hemos mencionado que se pueden utilizar métodos cualitativos o cuantitativos para la evaluación. Para utilizar un *método de evaluación cualitativa*, debe establecerse una métrica que permita “cuantificar” situaciones disímiles. Pueden considerarse cuestiones sensibles como ser la pérdida *de imagen* por parte de la empresa, ante eventos de fuga que provoquen olores, difusión de particulado, emisiones molestas provocadas por sistemas de alivio...o ruidos, aunque no produzcan daños físicos en los alrededores. Estas situaciones deben establecerse según una escala cualitativa homogénea, que permita también considerar daños a las personas, la infraestructura y al medio ambiente.

Cuando ante un evento accidental se producen diversas consecuencias deben evaluarse todas según la escala cualitativa definida, y se asume como magnitud representativa de

todas las consecuencias, a la mayor de todas ellas.

Salvuardas en el Diseño

Es importante aclarar que, durante el diseño, es necesario contemplar todas las situaciones de peligro asociadas a los equipos, cañerías, los procedimientos operativos que se diseñen; desde las primeras etapas del diseño conceptual o preliminar. Se denomina genéricamente “salvuardas” a las técnicas o elementos que se incorporan para mitigar tanto la frecuencia de ocurrencia como la severidad de las consecuencias ante la posible ocurrencia de los escenarios accidentales asociados al proceso. Las diversas salvuardas existentes son numerosas, y su diseño exige una especialización en el área de la ingeniería de procesos. Se pueden citar, por ejemplo:

- *Redundancia de equipos.*
- *Inspección y mantenimiento.*
- *sistemas de protección (salvuardas) tales como pararrayos, válvulas u otros dispositivos de alivio, sistemas anti-incendio, flare/antorchas, sensores, alarmas, enclavamientos, sistemas de enfriamiento de emergencia, entre muchos otros.*

Es necesario aquí aclarar que a los controladores se los consideran elementos del diseño conceptual, no de seguridad o salvuardas. *Son elementos de regulación de los valores de las variables controladas acotándolas a un valor deseado.* Ante un desvío crítico, respecto a la seguridad, dada una eventual falla que provoca la saturación del controlador originando una evolución anómala de la variable controlada, *es necesario adicionar al sistema de control, según corresponda, como mínimo, un sistema de alarma. Este debe estar calibrado para alertar si es superado un valor de desvío respecto del valor de consigna (o controlado) -ya sea positivo o negativo: alarma de alta o alarma de baja- según el caso.* Finalmente, si continúa la evolución y se incrementa el desvío debido a la dinámica de la falla, *y si la variable (ya incontrolada) supera un límite de desvío considerado intolerable; se dispara una nueva alarma: (alta/alta o baja/baja, según el caso), para que el operador actúe manualmente o bien se dispare automáticamente el accionamiento de elementos tales como enclavamientos, sistemas de alivio ante sobrepresiones, entre otros, según corresponda.*

Dentro de este contexto, se sigue que, en un diseño seguro, ante cada escenario peligroso y sus potenciales escenarios accidentales debieran contraponerse suficientes *elementos de salvuarda o barreras de protección.* La cantidad adecuada de capas de protección por sobre el elemento de regulación y control dependerá de la severidad de las consecuencias potenciales y de la frecuencia esperada de ocurrencia de tales eventos. *Nótese que las adopcio-*

nes (o el diseño) de tales sistemas son parte de la tarea del ingeniero de procesos. En otras palabras, las etapas que constituyen la tarea de diseño de procesos deben contemplar/incluir las de identificación de los peligros, las situaciones de riesgo y cuantificarlas, y proveer las capas de seguridad necesarias para lograr un diseño adecuado.

Si bien la normativa existente -relacionada con aspectos del diseño de procesos- establece criterios, estos son o muy generales, o bien muy específicos para ciertos procesos; y no cubren todos los aspectos de seguridad para todos los casos particulares de diseño de plantas. Esto es así ya que los complejos fabriles son ubicados en un sitio específico, con un entorno particular, operadas igualmente en forma específica.. entre otros factores. Las buenas prácticas de diseño incluyen la individualización de las situaciones de peligro y la incorporación de las salvaguardas necesarias par evitar o minimizar los efectos de los accidentes, en particular los de gravedad. Y no se limita solo a la utilización de la normativa específica existente.

Por otra parte, en distintas ocasiones -por ejemplo antes del primer arranque de planta, o bien ante anomalías detectadas durante la operación, o luego de accidentes de magnitud, o bien como política de seguridad de la organización pasado un dado período de operación-; todas las organizaciones debieran adoptar una política tendiente a realizar estudios de análisis de riesgos. En general, es beneficioso que se estos estudios se supervisen por un grupo independiente del equipo de diseño original; y además, externos al personal de planta.

Enfocándonos en los principales métodos de identificación de peligros, en la siguiente tabla se presenta un resumen de las más conocidos. Algunas de las técnicas mencionadas son de uso preliminar, otras son consumidoras de mucho tiempo, pero más profundas. Estas últimas logran identificar la mayoría de las situaciones de peligro, y además, estimar el riesgo asociado.

En apartados posteriores se profundizará en la técnica HAZOP (para identificar peligros y evaluar cualitativamente frecuencias de ocurrencia, consecuencias y riesgo).

<i>MÉTODO</i>	<i>CARACTERÍSTICAS</i>	<i>VENTAJAS</i>	<i>DESVENTAJAS</i>
<i>Análisis Preliminar de Riesgo (PHA) Check-List</i>	Identifican los peligros asociados al sistema. En ambos casos, la exploración del espacio de desviaciones/anomalías posibles no es sistemático. Se basan en guías preestablecidas	Es una conveniente primera etapa de análisis. En general durante la etapa de diseño preliminar.	Tiene alcance limitado. No identifica el espacio completo de anomalías posibles.
<i>Análisis de Modos de Fallas y Ffectos</i>	Analiza todos los modos de falla de todos los componen-	Fácilmente entendible. Esta aceptado,	No asegura la expansión del espacio de

(FMEA)	tes. Está orientado focalmente a los sectores de un proceso - los equipos y cañerías-, y puede ser no riguroso en procesos químicos con numerosos reciclos. No asegura la expansión de todas las posibles causas de los desvíos o anomalías.	estandarizado, no controvertido.	anomalías (identificación). Consume relativamente bastante tiempo.
HAZID Hazard Identification	Método para la identificación de situaciones de peligros orientado a realizar un ranking de potenciales anomalías y sus consecuencias.	Técnica flexible, estandarizada, fácil de aplicar y entender.	No asegura la expansión/identificación de todos los peligros y los escenarios accidentales asociados
Análisis de Árboles de Fallas (FTA)	Herramienta para focalizar la cadena de causas-consecuencias a partir de todas las causas/eventos iniciadores que provocan el evento tope (final) bajo análisis. Se determina todos los caminos, o sea todas las cadena de causas - consecuencias que provocan dicho evento.	Técnica bien aceptada. Muy buena para encontrar relaciones causales entre todos los eventos o fallas que producen una determinada situación (evento tope).	Se generan árboles muy grandes, aunque no son difíciles de entender. Tratamiento matemático complejo. Consume mucho tiempo, se aplica a eventos de importancia para su análisis.
Árboles de Eventos	Se comienza con un evento o desviación origen o anomalía, y se examina el conjunto de consecuencias que se derivan de tal situación. Si se indican las probabilidades de cada una de las derivaciones, se determina la probabilidad asociada a cada rama del árbol (consecuencias)	Técnica establecida, fácil de utilizar.	Muy enfocado en la cadena de causas consecuencias a partir de un evento incidental inicial, y la evaluación de las probabilidades asociadas. No profundiza en la evaluación de las consecuencias
Análisis de Riesgo y Operabilidad (HAZOP)	Similar a un análisis FMEA, aunque más completo ya que incluye un método para inferir las causas y los efectos de los desvíos/anomalías posibles de suceder en el sistema/proceso. Además, generalmente se realiza una evaluación de las salvaguardas, las consecuencias, y el riesgo asociado (en forma cualitativa)	Adecuado para grandes plantas químicas. Permite aproximar el espacio completo de desvíos/anomalías potenciales de la planta, analizar las fallas que los originan, su descripción, y evaluar el riesgo asociado a cada una de ellas.	Es muy consumidor de tiempo Requiere muchos datos e información actualizada y rigurosa de la planta.

II.1 INTRODUCCIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL METODO HAZOP

II.1.1 Objetivos del Análisis HAZOP

La técnica de Análisis de Riesgos y Operabilidad (HAZOP) fue desarrollada para identificar y evaluar cualitativamente riesgos asociados a un proceso o planta, y para identificar problemas operativos que puedan comprometer su capacidad para alcanzar la productividad de diseño. Aunque originalmente se desarrolló para anticipar los peligros y los problemas operativos de tecnologías para las cuales las organizaciones tenían muy poca experiencia, se encontró que la técnica podía ser muy efectiva aplicada a complejos existentes.

En general, el propósito de un análisis HAZOP es analizar cuidadosamente un proceso o una operación de un modo sistemático para determinar las desviaciones del proceso que puedan conducir a situaciones de peligro, y todas las manifestaciones accidentales asociadas, al igual que las consecuencias sobre la zona afectada. Esta técnica se puede utilizar para procesos batch o continuos, y se puede adaptar para evaluar procedimientos escritos (software, procedimientos operativos tales como parada y puesta en marcha, cargas o descargas, etc.).

En forma resumida, operativamente el equipo HAZOP enumera/genera metodológicamente, a través de la aplicación de *las palabras guías* a los *parámetros de proceso*; tanto la *totalidad de las causas posibles* y las *consecuencias* de tales *anomalías/fallas/desviaciones*, como las *salvaguardas existentes*. Además, se estiman la *frecuencia de ocurrencia*, y el *riesgo asociado a cada desvío o falla*. Por último, cuando el equipo determina que el *riesgo es intolerable*, ya que existen *protecciones inadecuadas para las desviaciones*, u otros motivos, se recomienda la toma de *acciones para reducir el riesgo a un nivel deseable o tolerable*.

Cabe remarcar que en los estudios HAZOP habitualmente se realiza la evaluación cualitativa del riesgo. Una evaluación cuantitativa lleva mucho tiempo y requiere muchos datos.

En general, si las consecuencias son significativas, y/o la frecuencia de ocurrencia, y/o las salvaguardas inadecuadas, el equipo recomendará una acción para reforzar las capas de protección. Este listado de recomendaciones luego, a través del informe HAZOP, se compila en el apartado correspondiente, para consideración de la gerencia. En ciertos casos, el equipo puede identificar una desviación con causas posibles/creíbles, pero con consecuencias difusas o poco conocidas (ej., un producto de reacción desconocido bajo ciertas condiciones), ante lo cual puede recomendar un estudio específico para determinar las posibles consecuencias.

En cualquier caso, el objetivo del grupo NO es rediseñar el proceso, ni siquiera diseñar los equipos/elementos que se sugieren. Esto principalmente se debe remarcar ya que el ÚNICO objetivo es lograr analizar/detectar TODAS las desviaciones posibles (el análisis consume mucho tiempo en procesos industriales) y la concentración y recursos deben *orientarse principalmente a la identificación de los peligros*, los escenarios accidentales asociados, las de-

fensas/salvaguardas disponibles dado el diseño; proponiendo recomendaciones si fuera el caso. En la oficina de procesos, el diseñador podrá seguir las recomendaciones y realizar el diseño correctivo asociado, o bien proponer alternativas, o adicionar otros elementos. En este caso, el tiempo asignado -y el objetivo- ya es la solución al diseño, y no el análisis HAZOP.

Dentro de este contexto, el resultado de un análisis HAZOP son las conclusiones del equipo de trabajo, que incluyen, según mencionamos, la identificación de los peligros, y sus riesgos asociados, al igual que los problemas operativos, recomendaciones para modificaciones en el diseño, procedimientos, etc., para perfeccionar el sistema. También, pueden surgir recomendaciones para realizar estudios en áreas donde no se pudo arribar a conclusiones debido a la insuficiencia de información o tiempo de análisis. Los resultados de las discusiones del equipo que conciernen las causas, efectos y salvaguardas ante cada falla / peligro detectados para todos los nodos o secciones del proceso en estudio se registran en *las tablas HAZOP*; en las cuales se ubican las conclusiones para cada peligro detectado en una fila. Cada aspecto de los peligros identificados se registra en las correspondientes columnas. Esto es, la descripción de la falla, la frecuencia de ocurrencia, las consecuencias, las salvaguardas existentes, el nivel de riesgo, y las recomendaciones.

Al finalizar el análisis, se disponen las tablas HAZOP que contienen todas las posibles desviaciones y sus evaluaciones incluyendo las recomendaciones. Sin embargo, debe presentarse de una manera adecuada a la gerencia a los efectos de facilitar la toma de decisiones (gerenciamiento del riesgo). Para ello, debe notarse que es posible fácilmente realizar un listado ordenado de anomalías/desviaciones/fallas en base a su nivel de riesgo, o bien solo por la magnitud de las consecuencias, o cualquier criterio, incluyendo además información relevante como el sector de planta, el tipo de equipo, etc. *Es decir, se puede “filtrar” la información obtenida por el grupo HAZOP para realizar el informe incluyendo en las conclusiones, un listado ordenado de fallas según su nivel de riesgo y sus consecuencias asociadas, el sector de la planta, si las sugerencias involucra la intervención del área mantenimiento, instrumentación, el procesos, calidad, medio ambiente, operaciones, etc. Esto es posible ya que generalmente el secretario HAZOP registra las conclusiones -durante las reuniones- en un software que generalmente se monta sobre una base de datos. Esto permite organizar los datos y obtener información mediante una serie de consultas según distintos criterios.*

Hasta aquí se han resumido brevemente las características del método de identificación de peligros (HAZard) y Operabilidad (hazOP). En las siguientes secciones se profundizará en cada uno de los conceptos y metodologías operativas mencionadas, en forma progresiva.

En la práctica, se sigue la siguiente secuencia de pasos:

1. *Preparación del análisis.*
2. *Realización del análisis.*
3. *Documentación de los resultados.*

Preparación del Análisis. Recursos y Datos Requeridos

La utilización de la técnica de análisis HAZOP requiere de información detallada que concierne al diseño y a la operación del proceso. De este modo, se utiliza más a menudo en etapas finales del proceso de diseño -ingeniería de detalle-. No obstante, puede adaptarse a todas las fases y/o actividades /etapas del diseño de un proceso, incluyendo las preliminares.

El análisis HAZOP habitual requiere disponer de todos los planos P&IDs (diagrama de cañerías e instrumentos) *precisos y actualizados*, y otras informaciones detalladas del proceso, como por ej. procedimientos operativos. También se requiere de un importante conocimiento del proceso, su instrumentación y operación. Esta información es habitualmente provista a los miembros del equipo, que por otra parte son expertos en diversas áreas. Líderes experimentados y entrenados, un equipo multidisciplinario y adecuada información (documentos del proceso y de operaciones) son insumos esenciales para un análisis HAZOP de alta calidad.

Para el estudio de un proceso largo y complejo el equipo HAZOP puede estar compuesto por un número mínimo de 6 a 7 personas, con variada experiencia: diseño e ingeniería de procesos, operaciones, mantenimiento, instrumentación y control, seguridad, ambiente, calidad, entre otras. Un miembro del equipo lidera el análisis y otro (típicamente el secretario) registra los resultados de las deliberaciones del equipo.

En la siguiente tabla se muestran tiempos *promedios estimativos* para realizar una evaluación de peligros y riesgos asociados utilizando la técnica de análisis HAZOP:

<i>ALCANCE</i>	<i>PREPARACIÓN</i>	<i>EVALUACIÓN</i>	<i>DOCUMENTACIÓN/ INFORMES</i>
<i>Sistema Pequeño/Simple</i>	1 a 2 días	1 a 4 semanas	1 a 2 semanas
<i>Proceso medio/Complicado</i>	3 a 14 días	5 a 12 semanas	3 a 5 semanas

El equipo HAZOP debe ser necesariamente interdisciplinario, utilizando una aproximación creativa y sistemática para identificar los peligros y escenarios accidentales y evaluar sus riesgos asociados. El equipo debe, además, identificar simultáneamente los problemas operativos que resulten de las desviaciones del propósito inicial del diseño y que puedan conducir a consecuencias indeseables (ineficiencia, producto fuera de especificaciones, sobrecostos en consumos, además de situaciones graves como explosiones, incendios, etc).

Las reuniones son conducidas por un líder experimentado que guía sistemáticamente al equipo HAZOP en la tarea del análisis del diseño de la planta y su operación; utilizando un conjunto definido de *palabras guía* aplicadas a *parámetros operativos* del proceso. Cada combinación entre palabras guías y parámetros se aplica en puntos específicos de estudio o *odos de estudio* (porciones del proceso o planta) para identificar potenciales desviaciones con respecto a la operación normal de la planta.

La necesidad de contar con un equipo multidisciplinario resulta de un requisito fundamental del método. Este se basa en el principio de la multidisciplinariedad, ya que es sabido que varios expertos con distintas formaciones, experiencias y actuaciones en distintos entornos pueden interactuar de un modo creativo y sistemático y así potenciarse para lograr mejores resultados. En este caso, los objetivos del equipo HAZOP como hemos mencionado consisten prioritariamente en *identificar* completamente el espacio de anomalías posibles durante la operación del proceso. Luego, metodológicamente, se espera que bajo una adecuada guía del líder y del secretario del grupo HAZOP logren ser más productivos cuando trabajan todos los miembros en forma conjunta y sistemática; respecto a cuando lo hacen en forma separada.

Es conocido que se logran ventajas cuando un grupo multidisciplinario trabaja libremente y se concentra en la solución de un problema dado *-brainstorming* (tormenta de ideas)-. Esto es, se estimula la creatividad y la generación de nuevas ideas mediante la interacción de un grupo de personas con diversos saberes y experiencias actuando sinérgicamente. Consecuentemente, el éxito del estudio requiere que todos los participantes expresen libremente sus puntos de vista, lo cual requiere un ambiente distendido, sin requerimientos extras respecto del trabajo específico HAZOP, sin interrupciones, etc. Dentro de este contexto, la tarea principal del líder, además de la preparación metodológica para lograr el adecuado desarrollo del trabajo, es la de conducir las reuniones estimulando la creatividad, e impidiendo situaciones que desconcentren o que dispersen al grupo respecto del objetivo. Esto es, evitar las críticas entre los participantes, o discusiones respecto de puntos específicos, o profundizar en soluciones habiendo detectado la situación de peligro, a los efectos de evitar que se ahogue o inhiba

el proceso creativo y que el tiempo se concentre en identificar los desvíos y sus causas, evaluar el riesgo, y finalmente las soluciones posibles para mitigarlo, sin profundizar en diseños/soluciones específicas.

Otro aspecto esencial del análisis HAZOP, como se ha mencionado, radica en la necesidad de disponibilidad de todos los planos y/o los manuales de procedimientos, o la documentación de los sistemas de control, seguridad y supervisión del proceso, los manuales de parada y puesta en marcha, entre otros. *Es muy importante que esta documentación esté disponible en todas las reuniones del grupo*, a los efectos de facilitar la identificación y la evaluación sistemática de las desviaciones del proceso respecto de las condiciones de operación normal según diseño.

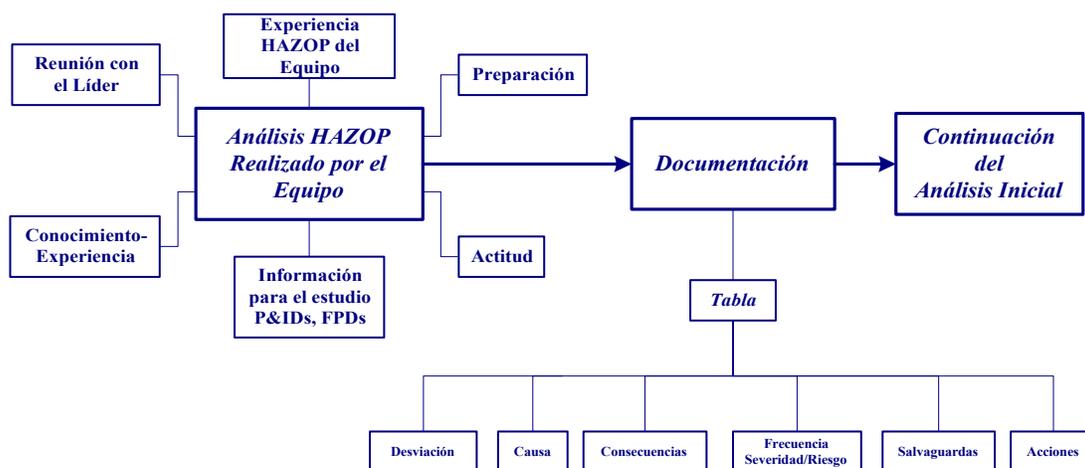
En resumen, un procedimiento creativo, combinado con la exploración de todo el proceso en forma sistemática recorriendo uno a uno todos los nodos en que se ha dividido el proceso; tiende a asegurar la completitud del método (detectar el espacio completo de todos los peligros). *Recordar que no puede evaluarse lo que no ha sido detectado.*

A modo de resumen, en la siguiente tabla se citan términos y definiciones que comúnmente se usan en un análisis HAZOP. En su gran mayoría han sido tratados en las secciones precedentes.

TÉRMINO	DEFINICIÓN
<i>Secciones del proceso (o nodos de estudio)</i>	Secciones del proceso con límites definidos (ej., una línea entre dos tanques) dentro de las cuales se investigan las desviaciones de los parámetros del proceso. Se las marcan coloreándolas según sus ubicaciones en los P&IDs a los efectos de asegurar que al final del análisis, no queden nodos sin analizar. Se incluyen los equipos que componen el nodo, por ejemplo los dos tanques, la bomba (incluyendo además la de reserva ubicada en paralelo si existiese) y las líneas auxiliares, válvulas y demás componentes incluidos por diseño.
<i>Pasos Operativos (Etapas de operación)</i>	También pueden ser analizados procesos batch, o procedimientos (arranque, parada, lavado, regeneración del catalizador, etc). Los nodos pueden comprender líneas de texto describiendo comandos o acciones componentes de una etapa de un proceso batch o un procedimiento operativo, o de arranque de planta. Pueden ser acciones implementadas en forma: manual, automática o híbridamente. Las desviaciones que se aplican a cada paso y las palabras guías y parámetros de proceso incluyen otras adicionales – que son específicas y complementarias -a las que se aplican en un proceso continuo-
<i>Propósito (Intención) del diseño o procedimiento</i>	Definición de cómo se espera que opere la planta o qué se espera de un procedimiento operativo en ausencia de desviaciones. Estado normal de operación en sus diferentes variantes, si existiesen.
<i>Palabras Guías</i>	Palabras simples que se utilizan para calificar o cuantificar el desvío respecto de propósito del diseño (por ejemplo no, más de, menos de, nada de.); que guían y estimulan el proceso de <i>brainstorming</i> para identificar todas las anomalías, las causas o fallas que las producen. Combinadas con las varia-

	bles/parámetros de proceso, permiten generar el conjunto de desviaciones, anomalías, fallas potenciales del proceso/sistema analizado.
Parámetros del Proceso	Parámetros o variables críticas en la operación del proceso. Propiedades físicas o químicas asociadas a las materias primas, productos intermedios y finales del proceso. Algunos parámetros: velocidad de reacción, de mezclado, de agitación, otros. Concentración, viscosidad, pH. y variables más “comunes” como: temperatura, presión, flujo, composiciones, fases, entre otras.
Desviaciones	Desviaciones de las intenciones de diseño que se corresponden con la combinación entre <i>palabras guía</i> (no, mas, menos, nada..) y los <i>parámetros del proceso</i> (presión, temperatura, etc.) -dando como resultado por ejemplo nada de flujo, más temperatura, etc..-.
Causas de las desviaciones	Complementando el punto anterior, se investigan las razones por las que las desviaciones pueden ocurrir. El Grupo HAZOP realiza sistemáticamente para cada sección del proceso el análisis de las posibles causas o fallas que llevan a cada una de las situaciones anómalas o desviaciones. Por ejemplo, para nada de flujo (parada de bomba, error humano en cerrar la válvula, etc..). Los Grupos de Trabajo a menudo complementan su lista de palabras y parámetros con ítems ad hoc, según la naturaleza del proceso analizado. Una vez que se ha decidido que una desviación tiene una causa creíble, se la puede tratar como una causa significativa. Esas causas/fallas pueden ser: fallas de equipos, errores humanos, estados del proceso no anticipados o considerados en el diseño (ej., cambios de composición en la alimentación), interrupciones externas (ej., corte de energía), entre otras. Si bien no se requiere considerar causas o razones “no creíbles o extremadamente raras”, tampoco debe inhibirse el proceso creativo generando el espacio de causas posibles. Ejemplo (acciones/atentados terroristas)
Consecuencias	Daños provocados por la desviación -vulnerabilidad del entorno- (ej., escape de materiales tóxicos e intoxicación de los trabajadores). Normalmente el equipo considera los sistemas de protección activos o pasivos existentes (salvaviduas) para mitigar las frecuencias o consecuencias de las fallas. Las consecuencias menores, sin relación con los objetivos del estudio, no se consideran.
Salvaguardas	También conocidos como sistemas de mitigación. Puede comprender desde Sistemas de controles administrativos designados para prevenir las causas o mitigar las consecuencias de las desviaciones -logística por ejemplo-, el mantenimiento general de planta y de sistemas; hasta sistemas de seguridad incorporados al diseño (ej., alarmas del proceso, procedimientos operativos, supervisión, enclavamientos, alivios, sistema anti-incendio, entre otros).
Recomendaciones (o Acciones)	Sugerencias para cambios en el diseño, cambios de procedimientos, o para realizar estudios adicionales (ej., agregar una alarma de presión redundante o invertir la secuencia de dos pasos operativos, agregar automatización, implementar procesos de formación del personal, etc.).
Riesgo	Se evalúa el riesgo en forma cualitativa. Se discretizan los valores de la frecuencia y las consecuencias respectivamente: (muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto)/ (insignificante, menor, daño reparable, grave, catastrófico) por ejemplo; adaptado a cada situación específica. Se utilizan matrices de Riesgo para combinar dichos valores (frecuencia, consecuencia) y determinar los valores posibles del riesgo; obviamente en una escala cualitativa similar. Es responsabilidad del líder proponer o consensuar la “matriz de riesgos a utilizar”.

Para la realización del análisis, además de lo metodológico, es importante describir los aspectos operativos o modos de ejecución del estudio. Esto en general ha sido mencionado en diversos puntos anteriores. No obstante, es necesario profundizar en las tareas necesarias para obtener los resultados esperados. En la siguiente figura se ilustra esquemáticamente los actores, las tareas y un esquema de la documentación que se elabora durante el análisis HAZOP. Más precisamente, se muestran las columnas de una típica tabla HAZOP con todos sus componentes.



En secciones anteriores se ha explicitado en detalle los componentes indicados en la Figura. Con respecto a los sectores del proceso en los cuales se realiza el análisis, ya mencionamos someramente que el estudio HAZOP se realiza focalmente, analizando uno a uno en forma sucesiva todos ellos. Estos sectores en los cuales se divide el proceso completo (o los pasos de un procedimiento, o un período de tiempo y las instrucciones asociadas, si el proceso es batch), se denominan *nodos de estudio*, o simplemente nodos.

Metodológicamente, una vez organizada la documentación disponible y su completitud, verificados los objetivos de diseño, el líder organiza una propuesta de la partición en nodos del proceso, a los efectos de proponerla al grupo HAZOP. Según dicha propuesta o con modificaciones propuestas por el grupo HAZOP, el análisis comenzará seleccionando *el orden en el cual se analizan los nodos* hasta cubrir todo el proceso. Este orden depende de varios factores; y aunque lo importante es cubrir todo el proceso existen otras consideraciones para facilitar el desarrollo del análisis. Dado que pueden existir diversas plantas de servicios, pocos o numerosos reciclos; en procesos de gran dimensión existirán relativamente muchos planos para representarlo, por lo cual es conveniente organizar la documentación necesaria y

la manipulación/disponibilidad de la misma, en cada reunión. *Generalmente esto se facilita según sea el trazado de los nodos y el orden en que se plantea resolverlos.*

El equipo HAZOP, como hemos comentado, en cada nodo comienza el análisis en busca de desviaciones del proceso potencialmente riesgosas que se derivan a partir de la aplicación del conjunto de palabras guías y los parámetros de procesos. Normalmente, el equipo evalúa todas las desviaciones para una dada sección antes de proceder con las demás.

En las siguientes tablas se citan, para profundizar la comprensión del método de análisis, algunos parámetros de proceso y palabras guías.

<i>PARÁMETROS DE PROCESO UTILIZADOS COMÚNMENTE EN UN ANÁLISIS HAZOP</i>			
Flujo	Tiempo	Frecuencia	Mezclado
Presión	Composición	Viscosidad	Separación
Temperatura	pH	Voltaje	Agregación
Nivel	Velocidad	Información	Reacción

<i>PALABRA GUÍA</i>	<i>SIGNIFICADO</i>
<i>No</i>	Negación del propósito de diseño
<i>Menos</i>	Disminución cuantitativa significativa
<i>Más</i>	Aumento cuantitativo significativo
<i>Parte de</i>	Disminución cualitativa proporcionalmente significativa
<i>También como</i>	Reemplazo en una acción, o elementos en una mezcla, otros..
<i>Reverso</i>	Oposición lógica del propósito (retro flujo por ejemplo)
<i>Otra cosa que</i>	Agregado (o sustitución) de alguna acción, elemento, contemplado en el diseño

Según el proceso que se opere, se eliminan o agregan otras palabras o parámetros según necesidad.

Al combinar cada palabra guía con los parámetros relevantes del proceso en cada punto (nodo en estudio, sección del proceso, o paso operativo) se generan desviaciones (fallas), según observamos en la siguiente tabla:

<i>PALABRA GUÍA</i>		<i>PARÁMETRO</i>	<i>DESVIACIÓN</i>
NO	+	Flujo	Nada de flujo
MÁS DE	+	Presión	Alta presión
OTRO QUE	+	Una fase	Dos o más fases
MENOS DE	+	Tiempo	Antes de lo necesario

Las palabras guía se aplican tanto a los parámetros generales (ej., reaccionar, mezclar) como a los más específicos (ej., presión, temperatura). Con los parámetros generales es muy común tener más de una desviación con la aplicación de una palabra clave. Por ejemplo: *más reacción* puede significar que la reacción se lleva a cabo a una velocidad mayor o que se obtiene una mayor cantidad de producto. Así también, combinaciones de palabras guías y parámetros producirán desviaciones *incongruentes* (ej., *también como con presión*).

Con los parámetros específicos pueden ser necesarias modificaciones de las palabras guía. Además, muy a menudo el analista encuentra que algunas de las desviaciones potenciales son irrelevantes debido a una limitación física. Por ejemplo, si se están considerando parámetros de temperatura, la palabra guía *más o menos* podrán ser las únicas posibles.

Las siguientes son otras alternativas de interpretación útiles de las palabras guía originales:

- *Temprano o tarde* para *otra cosa que* cuando se considere el tiempo.
- *Donde también* para *otra cosa que* cuando se consideren posición, origen, o destino.
- *Alto y bajo* para *más o menos* cuando se consideren niveles, temperatura, o presión.

Cuando se trabaja con un propósito de diseño que involucra un complejo set de parámetros de planta interrelacionados (ej., temperatura, velocidad de reacción, composición, y presión) será mejor aplicar la secuencia completa de palabras guía a cada parámetro en forma individual, que aplicar cada palabra guía a lo largo de todos los parámetros como un grupo.

Cuando se apliquen las palabras guía a una instrucción operativa (ej., paso de un procedimiento) será más útil aplicar la secuencia de palabras guía a cada palabra o frase por separado, empezando en orden desde el principio de actividad. Esas partes de la oración habitualmente están relacionadas con algún impacto en los parámetros del proceso. Por

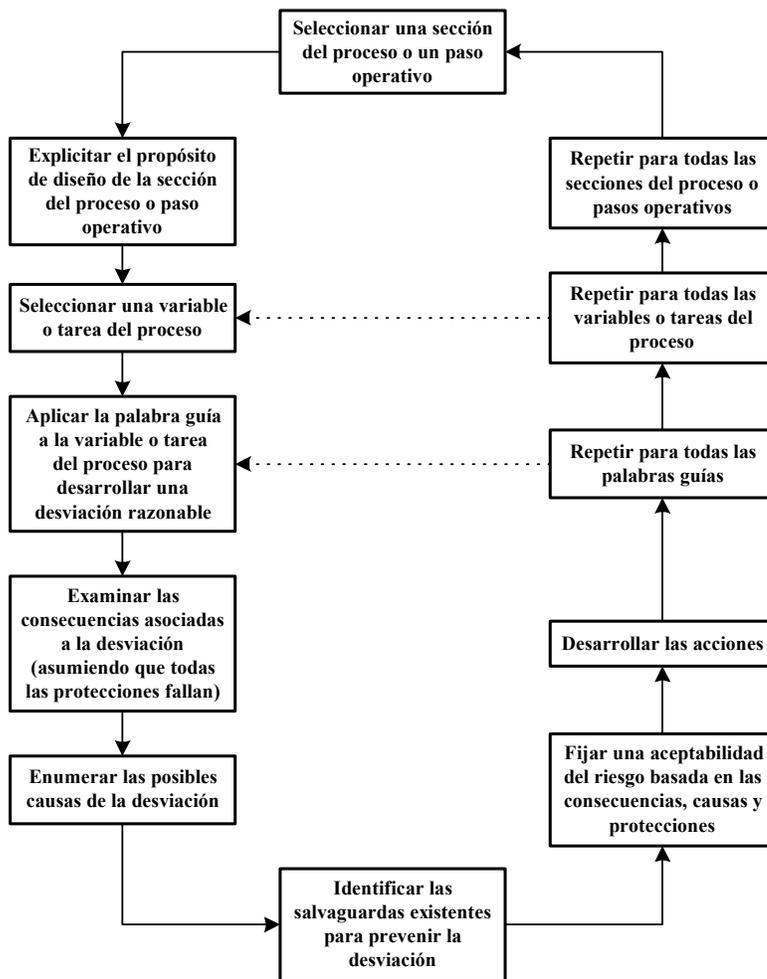
ejemplo, en el paso de un procedimiento: *el operador arranca el flujo A cuando se alcanza la presión de..* las palabras guía se aplicarán a:

- Arranca (se habilita) el flujo A (*no, más, menos, etc.*)
- Cuando se alcanza la presión B (*temprano, tarde, etc.*)

En este punto debe remarcarse que un análisis HAZOP en un proceso continuo es diferente a uno discontinuo (procesos batch, operaciones de puesta en marcha y paradas, etc.) ya que aparece el parámetro o variable *tiempo* y el concepto de *eventos* (por ejemplo, acciones del operador) asociados al mismo.

Se ha mencionado que la técnica de análisis HAZOP requiere que los procedimientos y planos de un proceso se dividan en nodos de estudio, secciones del proceso, o pasos operativos y así se señalen las desviaciones en el proceso; o procedimiento operativo, utilizando las combinaciones de palabras guía y parámetros significativos para la operación.

Esquemáticamente, en la siguiente figura se ilustra el flujo de actividades normal en una reunión HAZOP.



En el esquema, *la selección de la sección del proceso se refiere a seleccionar (en el o los planos correspondientes) el nodo a analizar*. Dado que en los P+I+D suele representarse el proceso con gran nivel de detalle, solo una pequeña porción puede alojarse en cada uno. Luego, suele suceder que al seleccionar una sección de proceso (nodo) en función de sus objetivos de diseño, se involucren uno o más planos (P+I+D).

Los nodos normalmente se definen previamente, antes de comenzar el estudio. A medida que el equipo analiza cada sección del proceso o nodo, ya hemos remarcado que se registran en las tablas HAZOP, y para cada falla: *sus causas, consecuencias, salvaguardas existentes. Evaluación cualitativa del riesgo asociado. En el esquema anterior, Desarrollar las acciones correspondientes supone proponer detalladamente, todas las recomendaciones/sugerencias necesarias, de existir.*

A medida que se generan las desviaciones significativas, el líder del equipo debe asegurarse que todos los miembros del equipo concuerden respecto del alcance de las consecuencias y la calidad de las salvaguardas existentes. Es importante que el líder de un equipo HAZOP controle el grado de resolución de los problemas durante las reuniones HAZOP. Para minimizar la pérdida de tiempo o asegurar la calidad del análisis, el líder debe tender a (solo indicativo, no taxativo):

-Completar el estudio de una desviación (falla detectada) respecto de todos los campos de la tabla HAZOP asociados antes de proceder con la siguiente desviación.

-Esto implica evaluar todos los riesgos asociados antes de considerar las recomendaciones sugeridas para mejorar la seguridad.

-De no existir acuerdos, o faltar información, se debe decidir acerca de la información faltante y asegurarse su disposición para la próxima reunión, y seguir con el análisis... entre otros aspectos..

En la práctica, los líderes HAZOP deben otorgar al equipo suficiente tiempo para considerar y determinar las recomendaciones; pero no debe permitir que el equipo invierta mucho tiempo *diseñando/detallando las propuestas/soluciones*. No sería apropiado, ya que por lo general es imposible que un equipo de trabajo diseñe una solución durante las horas disponibles para una reunión. *El objetivo es acordar las recomendaciones y plasmarlas en las planillas asentándolas inmediatamente*. Si se concuerda con algunas soluciones específicas convenientes alternativas, se las indica igualmente. Lograr un adecuado balance, y un adecuado registro en las planillas, es una responsabilidad conjunta del líder y el secretario, ya que es éste el responsable de completar las planillas durante las reuniones HAZOP.

Para asegurar la efectividad de las reuniones, el líder debe considerar varios factores:

- 1. No competir con los miembros. Es el experto en el método, no en el proceso.*
- 2. Tener cuidado a los efectos de lograr atender a todos los miembros.*
- 3. No permitir que nadie se ponga a la defensiva durante las reuniones. Lograr participación pro-activa*
- 4. Mantener el nivel de energía/concentración alto, proporcionando todos los descansos que hagan falta.*

Aunque el líder del equipo se habrá preparado para el estudio, la técnica HAZOP puede presentar *vacíos* en la información disponible acerca de la operación de la planta o de ciertos conocimientos puntuales acerca del proceso por partes de los miembros del equipo. Algunas veces, será necesario solicitar la presencia de algún especialista para obtener información

sobre algún aspecto operativo de la planta o decidir la postergación del estudio de ciertas partes de la planta hasta obtener la información adecuada.

Consideraciones de Relevancia sobre la Documentación de los Resultados. Informe HAZOP

El proceso de documentación de los resultados es una parte importante de un estudio HAZOP. El secretario, responsable de *recopilar /documentar* las conclusiones de las reuniones HAZOP, debe ser capaz de distinguir/sintetizar los resultados pertinentes de las innumerables conversaciones que ocurren durante las reuniones. Es imposible registrar todo lo que se dice; sin embargo, es *imprescindible* que se preserven solo las ideas importantes. Algunos analistas pueden optar por minimizar los esfuerzos de documentación relativizando las fallas cuando las consecuencias son insignificantes.

En general las reuniones se realizan cada tres o más días, o bien cada semana. A los efectos de no perturbar la labor integral de los participantes en la planta. Dado que la duración de una jornada HAZOP suele ser de al menos la mitad de una jornada, las tareas habituales de planta deben completarse luego de la reunión, presionando la labor de los participantes en cuanto a la asignación de su tiempo laboral a las obligaciones diarias. Es por esto que tampoco se aconseja más de 5 o 6 horas de reunión debido a la concentración necesaria para este tipo de estudios.

En general resulta beneficioso ir realizando los reportes tras cada reunión y leerlos antes de comenzar la siguiente, a los efectos de facilitar el desarrollo y la confección del reporte final del análisis HAZOP. El análisis de los eventos claves ayudará muy a menudo a perfeccionar los hallazgos y descubrir nuevos problemas.

Si bien el producto principal (y completo) del análisis *son las tablas HAZOP*, habitualmente los resultados para la gerencia se concentran en las conclusiones que se derivan a partir de la información concentrada en dichas tablas HAZOP.

En otras palabras, el informe HAZOP contiene en un anexo a las tablas HAZOP; sin embargo, en un apartado inicial (resumen ejecutivo) condensa las recomendaciones relevantes. En el cuerpo del informe se justifican tales conclusiones elevadas a la gerencia.

Por ejemplo, presentando un listado de todas las fallas potenciales detectadas, ordenadas por el nivel de riesgo asociado a cada una, y las recomendaciones surgidas del estudio, cuya implementación resulta prioritaria según cada nivel de riesgo asociado.

Se ha mencionado que las tablas HAZOP -en su forma más sencilla- presentan la información según se muestra en el siguiente ejemplo. Nótese que las planillas contienen una sección (encabezado) que identifica, al menos, el (los) equipos principales que componen el

nodo analizado; el sector/planta de pertenencia, codificación de planos en los cuales se representa dicho nodo -generalmente se los colorea identificando con distintos colores los mismos-, el número de versión/revisión que corresponde, y demás información que depende de cada organización o caso en particular.

En cada fila se ubica cada falla detectada, a medida que se desarrolla el análisis. En las columnas, para cada fila (desviación/falla) se completan los campos indicados. Hemos detallado lo suficiente respecto a cada uno de ellos, excepto la evaluación cualitativa de riesgos; en particular la confección de la matriz de riesgos -necesaria para evaluar el riesgo-; mediante un producto “cualitativo” entre el valor de las frecuencias y el valor de las consecuencias expresados en tales “unidades cualitativas”.

Equipo:		Número del plano:						
Fecha de la reunión:				Número de revisión:				
Pal. Guía / Parámetro	Desviación/ Falla	Causa	Consecuencias	F	S	R	Salvaguardas Existentes	Recomendaciones

Matriz de Riesgo

Se desarrolla con el objeto de evaluar el riesgo. Permite clasificar el riesgo según un orden de severidad. Para ello se asigna a cada falla un rótulo (valor numérico/alfabético de *probabilidad* o *frecuencia* de ocurrencia del acontecimiento), y otro a las consecuencias -valor numérico/alfabético de *severidad*-.

En este ejemplo (conceptual) elegiremos para evaluar cualitativamente tanto a la probabilidad (frecuencia) como a la severidad (nivel de gravedad o vulnerabilidad de los receptores) mediante una escala discreta en cuatro niveles (rótulos) representados como nivel 1 al nivel 4. Los valores de riesgo se clasificarán de la misma manera, pero para mayor claridad, cada nivel discreto lo denotamos de acuerdo con una escala alfabética. Cabe mencionar que lo importante no son los “rótulos” asignados a cada nivel de discretización seleccionado, sino la definición de los mismos.

De esta manera, una posible matriz de riesgos en tal caso (bajo estos supuestos por ejemplo para el sistema de discretización adoptado) se muestra en el siguiente esquema.

<i>Probabilidad (frecuencia)</i>	4	<i>A</i>	<i>N</i>	<i>I</i>	<i>I</i>
	3	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>N</i>	<i>I</i>
	2	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>N</i>
	1	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>C</i>
		1	2	3	4
		<i>Severidad (consecuencias)</i>			

En lo siguiente analizaremos el significado de los *valores discretizados de riesgo* que corresponden a cada uno de los casilleros/elementos de la matriz de riesgo (que según mencionáramos en la sección introductoria, se calculan de acuerdo con la siguiente expresión):

$$Riesgo = Probabilidad (frecuencia) \times Severidad (consecuencias)$$

Cada posición en la matriz especifica el valor del producto en función del valor cualitativo de la frecuencia por el valor de la severidad. En este caso, matriz de 4 x 4, o sea, 16 valores posibles. Además, estamos definiendo 4 valores discretizados (o cualitativos) para el riesgo, como puede observarse en la siguiente tabla.

Descripción de los niveles de discretización a los efectos de construir la Matriz de Riesgos

<i>PARÁMETRO</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
Riesgo	<p><i>A</i> Aceptable: no se necesitan medidas de control del riesgo.</p> <p><i>C</i> Aceptable con control: hay en el lugar medidas de control del riesgo.</p> <p><i>N</i> No Deseable: colocación de medidas de control del riesgo dentro de un período de tiempo especificado.</p> <p><i>I</i> Inaceptable: colocación de medidas de control del riesgo tan pronto como sea posible.</p>
Probabilidad/Frecuencia	<p>1 <i>No se espera que ocurra</i> durante la vida del equipo, componente o sistema.</p> <p>2 <i>Puede ocurrir una vez</i> durante la vida del equipo, componente o sistema.</p> <p>3 <i>Puede ocurrir varias veces</i> durante la vida del equipo.....</p> <p>4 <i>Puede ocurrir una vez al año</i> (o más seguido).....</p>
Clasificación de Severidad para consecuencias sobre las personas	<p>1 Sin daños o impactos sobre la salud.</p> <p>2 Daños o impactos menores sobre la salud.</p>

	<p>3 Daños o impactos moderados sobre la salud.</p> <p>4 Muerte o daños severos sobre la salud.</p>
<i>Clasificación de Severidad para Pérdidas de Producción (PPR)</i>	<p>1 Hasta varios días.</p> <p>2 Hasta varias semanas.</p> <p>3 pocos meses.</p> <p>4 Mayor a 6 meses.</p>
<i>Clasificación de Severidad para Pérdidas de Capital (PC)</i>	<p>1 Sin daño a componentes principales.</p> <p>2 Daño de consideración a varios componentes principales.</p> <p>3 Daño total a partes/sectores importantes del proceso, daños leves a moderados fuera de la planta.</p> <p>4 Daño total a la unidad y daños fuera de la planta significativos.</p>
<i>Clasificación de Severidad para Pérdidas de Imagen (PI)</i>	<p>1 Daño a la imagen de alcance local</p> <p>2 Daño a la imagen de alcance regional</p> <p>3 Daño a la imagen de alcance nacional</p> <p>4 Daño a la imagen de alcance internacional</p>

Resulta claro que la escala de discretización depende del proceso y la política de gerenciamiento empresarial adoptada en cada caso específico. En general las grandes corporaciones determinan su matriz de riesgos, que puede contener más indicadores (por ejemplo en las consecuencias considerar impactos al ambiente y potenciales daños que contribuyan al daño climático (huella de carbono, huella hídrica, entre otros..). También se suele adoptar distintas modalidades para discretizar tanto las frecuencias como las consecuencias en más niveles (las matrices de riesgos no necesariamente deben ser cuadradas), entre otras variaciones posibles.

Obviamente, las reglas para componer los valores discretos de las consecuencias con las frecuencias para obtener el riesgo resultan el aspecto o decisión (la política de gerenciamiento del riesgo de la empresa) más relevante en la confección de las matrices. Como ya el lector habrá detectado, es un proceso cualitativo, que puede sesgarse hacia consideraciones más conservadoras, o más relajadas; al fijar el resultado del producto (evaluación del riesgo) entre niveles de frecuencias y consecuencias en cada elemento de la matriz de riesgos.

Un criterio generalmente utilizado es tomar el producto de los niveles de frecuencias y consecuencias (1, 2, 3, 4 en este caso) y realizar el producto de dichos niveles de discretización (en este caso cuatro por cuatro). Esto implica que el rango posible de valores de riesgos sería 16. Si tomamos para el riesgo el mismo criterio que para las frecuencias y consecuencias; tendríamos también para el riesgo, cuatro niveles. Una alternativa para definir los límites entre ellos, por ejemplo, es tomar un criterio “igualitario o equilibrado”. Para el nivel A los

valores del producto entre 1 al 4 inclusive, para el B desde 5 al ocho inclusive, para el C entre el 9 y el 12 inclusive, y por último para el D entre el 13 al 16 inclusive.

Si, por ejemplo, se tomara la decisión de obtener una matriz distinta a la indicada más arriba, en el sentido por ejemplo de asignar una discretización en tres niveles (o en cinco) para el rango aducido de riesgos resultantes, sería necesario establecer las reglas para componer las frecuencias y consecuencias de tal manera de obtener tales niveles de riesgos. Se deja al lector tal tarea, y las conclusiones que de ello se derivan.

Finalmente, es interesante mencionar que la práctica de los estudios HAZOP es ya universal, y se ha extendido a otros tipos de procesos, inclusive con distintos nombres (por ejemplo, en la industria de alimentos. En este caso, el estudio HAZOP -Hazard and Operability Analysis- se “convierte” en un estudio o análisis HACCP -Hazard Analysis and Critical Control Points-), que al igual que el HAZOP permite identificar, evaluar y controlar peligros significativos para la inocuidad de los alimentos. Y por lo tanto, se enfoca en cuestiones específicas tales como la microbiología, los factores de contaminación, entre otros. No obstante, desde el punto de vista del proceso, los procedimientos operativos, es decir el funcionamiento de la planta, la acción de los operadores, la instrumentación y control, no deben excluirse como factores de anomalías/fallas. Por lo tanto, se añaden al típico análisis HAZOP, todas las desviaciones posibles a los parámetros de procesos específicos tales como los microbiológicos, la calidad, preservación, el envoltorio o envase... entre otros. Desde el punto de vista de las causas y consecuencias, además de las relacionadas a los aspectos inherentes al alimento producido, deben contemplarse obviamente, los posibles eventos de fugas (entre otros) como en cualquier proceso. Por ejemplo, el amoníaco se utiliza para los circuitos de refrigeración; pero una fuga puede tanto afectar por su toxicidad como por una potencial explosión. Lo mismo sucede con el cloro, en este caso dañino para la salud de las personas.

Una situación similar se observa en las industrias farmoquímicas, ya que al igual que la de alimentos, deben cumplir requerimientos de calidad, de seguridad, y en particular de los atributos exigibles a las drogas para la formulación de los medicamentos -que están sujetas a numerosas regulaciones-. Es comprensible entonces que se realicen estudios complementarios al análisis HAZOP, aunque con la misma metodología, especializados según distintos objetivos relacionados con las regulaciones específicas en cada caso.

En general, en todos los casos se utilizan de los principios generales de la ingeniería de la confiabilidad. En particular, en este caso, los métodos para la identificación de peligros. Debe remarcarse que además de los aspectos específicos/inherentes a cada rama de aplicación

(agregamos a la biotecnología, por ejemplo) se deben contemplar, además, los eventos accidentales debido al proceso (generalmente se los llama tecnológicos).

Esta última denotación, es importante ya que existe además un aspecto importante que se ha consolidado en las últimas décadas, referido al *Riesgo Ambiental*. *Esto es, analizar en profundidad todas las consecuencias y evaluar la vulnerabilidad del ambiente ante accidentes tecnológicos. Esto implica, al igual que los aspectos anteriormente mencionados para distintos tipos de industrias, una “especialización” en cuanto al objeto de impacto.* Por ejemplo, la evaluación del impacto de fugas de petróleo en cursos de agua (u otro contaminante), exige técnicas especializadas para la evaluación de las consecuencias. No solo sobre el curso de agua, sino sobre todo el ecosistema afectado.

Adicionalmente, en la actualidad comienza a tomar fuerza otro acontecimiento: *el cambio climático y sus consecuencias. Esto implica tanto el impacto sobre la frecuencia de los eventos desencadenantes de accidentes (tormentas, terremotos, inundaciones, entre otros) como de los parámetros relevantes: temperatura, presión, velocidad del viento..entre otros. Dentro de este contexto, recientemente toma cuerpo una rama de especialización dentro de la ingeniería de la confiabilidad: “Riesgo ante el Cambio Climático”.*

Dentro de este contexto, en función de las diversas aplicaciones y la experiencia acumulada, se han propuesto varias formas alternativas para documentar los resultados de estos estudios, enfocando la organización de la documentación en función de las características de las distintas ramas de la industria -y de los tipos de eventos/procesos analizados-.