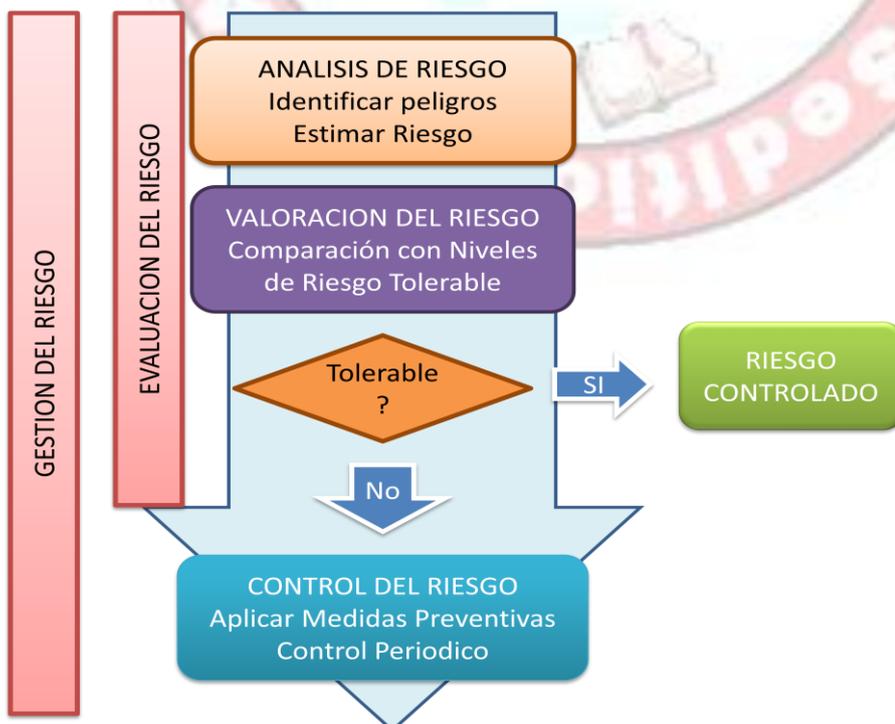




Métodos cualitativos para el análisis de riesgos

1 INTRODUCCION

En un contexto general «riesgo» se define como la probabilidad de ocurrencia de un efecto adverso determinado sobre la salud humana, los bienes materiales o el medio ambiente, como consecuencia de la exposición a un «peligro» (ciertos productos químicos, tecnologías, fenómenos naturales,...) que puede materializarse a través de un suceso accidental. Se entiende por «análisis del riesgo» el uso de la información disponible para identificar los peligros existentes y estimar el nivel de riesgo presente. Por «evaluación de riesgos» se entiende el proceso por el cual se juzga la aceptabilidad del riesgo estimado. Finalmente, la «gestión de riesgos» es el proceso de decidir qué debería hacerse respecto a un peligro, a la población expuesta o a los efectos adversos, implantando la decisión y evaluando sus resultados.



El objetivo del análisis de riesgos es aumentar tanto la seguridad como el servicio y rendimiento de un sistema, disminuyendo la frecuencia de los accidentes y aumentando así la disponibilidad del sistema.

El análisis de riesgos se aplica tanto al diseño de una nueva instalación o producto como a cualquier modificación de estos y a su construcción o reparación. Existen varios grados de análisis de riesgos según la complejidad y alcance del mismo, si bien, de forma general, las fases de un análisis de riesgos son las que se resumen en la figura 1.1. y consisten en:

- La identificación del riesgo.
- El análisis de las consecuencias y daños.
- La cuantificación del riesgo como producto de la frecuencia del riesgo y los daños producidos.

Dentro del contexto general de análisis de riesgos existe un caso particular destinado al control de los riesgos de accidentes graves (CORAG), cuyo fin es la prevención de accidentes graves tal como incendios, explosiones, emisiones resultantes de fallos en el control de una actividad industrial y que puedan entrañar graves consecuencias para personas internas y externas a la planta industrial.

El procedimiento normal para llevar a cabo una evaluación de riesgos es el siguiente:

1. Una descripción detallada de sus procesos e instalaciones, inventario de productos iniciales, intermedios y finales– con sus propiedades peligrosas, sistemas de prevención y de protección, etc.
2. La identificación de los peligros presentes en las diferentes instalaciones.
3. La identificación de los accidentes potenciales, de sus previsible sucesos iniciadores y de las secuencias de sucesos que pueden conducir a tales accidentes.
4. La cuantificación de la probabilidad de ocurrencia de los accidentes identificados.
5. Una estimación de las consecuencias de los accidentes identificados, obtenida mediante la consideración de las zonas de alcance y de los elementos vulnerables incluidos en esas zonas.
6. Una relación de los accidentes graves posibles.
7. La estimación del riesgo de los accidentes descritos, obtenida mediante la consideración de la probabilidad de ocurrencia y de las consecuencias de los mismos.
8. La comparación de los niveles de riesgo presentes con algunos criterios de aceptación procedentes de la legislación o de normas, códigos, guías o

referencias emanadas de organismos nacionales o internacionales de reconocido prestigio.

9. Las decisiones respecto a la aceptación de los riesgos o la planificación de las acciones correctivas orientadas a disminuirlos hasta niveles aceptables desde el punto de vista de los criterios del punto anterior.

2 CLASIFICACION DE LOS METODOS

2.1 Clasificación según la cuantificación del riesgo

Una primera clasificación de los métodos se recoge en la siguiente tabla

1. Métodos cualitativos

- Análisis histórico de accidentes
- Listas de comprobación (*Check lists*)
- Análisis preliminar de riesgos
- Análisis ¿Qué pasaría si...? (*What if...*)
- Análisis funcional de riesgos y operabilidad (HAZOP)
- Análisis del modo de los fallos y sus efectos (*FMEA/FMEAC*)
- Árbol de fallos (opción cualitativa) Árbol de sucesos (opción cualitativa)
- Análisis causa-consecuencias (opción cualitativa) Auditorias de seguridad (*Safety audits*)

2. Métodos semicuantitativos

- Índice DOW Índice Mond
- Variaciones del método Gretener (*ERIC, FRAME, ...*)
- Índices de riesgos de procesos químicos (I.N.S.H.T.)

3. Métodos para la estimación de frecuencias/probabilidades

- Análisis de la capa de protección (*LOPA*)
- Índices de frecuencias
- Árbol de fallos
- Árbol de sucesos
- Análisis causa-consecuencias

En el grupo de *Métodos cualitativos* se incluyen herramientas destinadas a analizar la significación de situaciones peligrosas asociadas con un proceso o actividad, sin recurrir a cálculo alguno. Son técnicas orientadas a la identificación de los puntos



débiles en el diseño o la operación de las instalaciones que podrían conducir a accidentes. En algunos casos –listas de comprobación, auditorías de seguridad– pretenden detectar las deficiencias, con respecto a lo especificado, en el diseño, la construcción, la operación, el mantenimiento y/o la gestión de la prevención. En otros –HAZOP, árboles de sucesos o de fallos– se estudia la reacción del sistema ante la aparición de una o varias alteraciones respecto a sus condiciones de operación normales

Se clasifican como *Métodos semicuantitativos* aquellos que permiten una graduación de las diversas áreas de una instalación, o una valoración del conjunto de la instalación, en función de su potencialidad para causar daño, calculada a partir de una serie de criterios y valores asignados a los elementos y circunstancias peligrosas.

Los *Métodos para la estimación de frecuencias* arrancan de la identificación de las secuencias accidentales o de la concatenación de fallos necesaria para que se produzca un accidente; esa primera etapa es simplemente cualitativa, lo que hace que también figuraran dentro del primer grupo. La diferencia estriba en que, disponiendo de la frecuencia de los fallos o de la probabilidad de actuaciones elementales, son capaces de estimar la probabilidad de ocurrencia del suceso no deseado. Combinados con los análisis de consecuencias constituyen la metodología del análisis de riesgos, propiamente dicha

2.2 Clasificación según la naturaleza del método

Una segunda clasificación, que atiende a la naturaleza del método, se encuentra

Los Métodos comparativos se fundamentan en el examen de una instalación desde la experiencia acumulada, tanto en el diseño y operación de plantas semejantes – en cuanto a productos o procesos involucrados–, como en el análisis de incidentes o accidentes ocurridos en las mismas.

Los Métodos generalizados proporcionan sistemas de análisis aplicables, en principio, a cualquier situación, lo que los convierte en herramientas versátiles y de amplia utilización. Salvo en el caso del *árbol de fallos*, que es de naturaleza inductiva, todos emplean un razonamiento deductivo para determinar el estado final de la instalación tras uno o varios sucesos anómalos.

TABLA Clasificación de los métodos de análisis de peligros según su naturaleza

1. Métodos comparativos

- Análisis histórico de accidentes

- Listas de comprobación (Check lists) Auditorías de seguridad (Safety audits)

2. Métodos generalizados

- Análisis ¿Qué pasaría si...? (What if...)
- Análisis preliminar de riesgos
- Análisis funcional de riesgos y operabilidad (HAZOP)
- Análisis del modo de los fallos y sus efectos (FMEA/FMEAC)
- Análisis de la capa de protección (LOPA)
- Árbol de fallos
- Árbol de sucesos
- Análisis causa-consecuencia

3. Índices de riesgo

- Índice DOW Índice Mond
- Variaciones del método Gretener (ERIC, FRAME,)
- Índices de frecuencias
- Índices de riesgos de procesos químicos (I.N.S.H.T.)

2.3 Análisis histórico de accidentes

Su objetivo primordial es detectar los peligros presentes en una instalación por comparación con otras similares que hayan tenido accidentes registrados en el pasado. Analizando esos antecedentes es posible conocer las fuentes de peligro, estimar el alcance posible de los daños e incluso, si la información es suficiente, estimar la frecuencia de ocurrencia

Para llevar a cabo estos trabajos se dispone de bancos de datos informatizados, recopilaciones bibliográficas de accidentes o incluso de la propia experiencia siniestral de la empresa.

Es una metodología simple y económica, ya que no compromete muchos recursos materiales o humanos. Su gran ventaja es que detecta peligros absolutamente reales, que ya en el pasado se han puesto de manifiesto. Sin embargo, las informaciones recogidas son limitadas dado que sólo se



registrar los accidentes que acaban en eventos de relativa importancia y se obvian incidentes, potencialmente más peligrosos que los anteriores, pero que por circunstancias fortuitas favorables no desencadenan un gran accidente. Asimismo, las informaciones recogidas no son completas y están afectadas de imprecisiones importantes, lagunas y datos confidenciales desconocidos

2.4 Análisis preliminar de peligros

Este método es similar al análisis histórico de accidentes, aunque no se basa en el estudio de siniestros previos sino en la búsqueda bibliográfica de peligros que puedan hallarse presentes en una nueva instalación a partir de la lista de productos químicos presentes. De forma no estricta se le suele denominar también "Análisis preliminar de riesgos".

El procedimiento consiste en obtener información completa sobre materiales, sustancias, reactivos y operaciones previstas, comparar estos procesos con otros de los que se tenga experiencia anterior, adaptar esas semejanzas al caso actual y analizar las operaciones y equipos previstos desde el punto de vista de los peligros presentes en cada uno (toxicidad, corrosividad, carga energética, etc.).

Los puntos críticos que se hayan detectado en el paso anterior deben ser objeto de un estudio técnico algo más detallado. Por último, como resulta lógico, deberán proponerse las medidas a adoptar para disminuir o eliminar los peligros detectados.

Es un procedimiento de análisis simple y económico, aunque no sistemático; es estrictamente cualitativo y depende en exceso de los conocimientos previos de los ejecutantes.

Resulta idóneo para instalaciones en fase de anteproyecto o ingeniería básica, cuando aun no se han desarrollado planos detallados de la instalación.

2.5 Análisis "¿Qué pasa si...?"

El objetivo fundamental de este método es la detección y análisis de las desviaciones sobre los procesos y condiciones previstos, intentando evitar aquellos eventos que puedan resultar no deseables. Básicamente consiste en responder cualitativamente a una batería de preguntas del tipo "¿Qué pasa si...?", en relación con la calidad o la concentración de las materias primas, o en relación con las variables de proceso o los servicios necesarios.

Para llevar a cabo este análisis de forma estructurada se recomienda seguir la línea de proceso, desde la recepción de materiales hasta la entrega del producto terminado. En una primera fase se pide a los participantes que planteen cualquier pregunta del tipo "¿Qué pasa si...?" en relación con cada unidad o etapa del proceso. Una vez recopiladas todas estas cuestiones, se intentará dar respuesta a cada una de ellas, con la participación de especialistas si fuera necesario.

Una vez identificados los peligros y sus posibles consecuencias, deben proponerse las medidas disponibles para minimizarlos, tales como alternativas en el proceso o modificaciones de la línea de producción. Resulta un sistema muy creativo y de simple aplicación (y por lo tanto, económico). Sin embargo, aún realizándose de modo

estructurado puede pasar por alto algunos peligros menos evidentes pero no por ello menos graves

2.6 Análisis mediante listas de comprobación

Consiste en contrastar la realidad de la planta con una lista muy detallada de cuestiones relativas a los más diversos ámbitos, tales como condiciones de proceso, seguridad o estado de las instalaciones o servicios.

En primer lugar es necesario disponer de listas de comprobación o "check list" generalistas o específicamente desarrolladas para esa planta en concreto. Cabe también generar estas listas con un planteamiento global o bien por ámbitos (instrumentación, equipos, materias peligrosas, condiciones de trabajo, etc.).

A la hora de aplicar el análisis, basta con seguir la lista de referencia y responder a todas y cada una de las cuestiones planteadas, obteniendo así un perfil sobre el cumplimiento de los criterios de seguridad de la planta analizada.

Es un procedimiento fácil y controlado. Está especialmente adaptado para garantizar el cumplimiento de normas o reglamentos técnicos y permite la reproducibilidad del análisis de forma periódica, permitiendo estudiar las desviaciones que se producen en el tiempo. No obstante, dependiendo de la calidad de la lista de comprobación o del grado con que se adapte a la planta analizada puede pasar por alto peligros evidentes no contemplados en las listas o incidir excesivamente en puntos que sin lugar a dudas no plantean peligros importantes. En este sentido, no es un método creativo.

2.7 Análisis de los modos de fallos y sus efectos

Denominado también "Failure Mode and Effect Analysis" o FMEA es una técnica muy utilizada en los sistemas de calidad para identificar causas de fallos.

El FMEA persigue establecer los posibles fallos de todos y cada uno de los elementos de la planta, analizando las consecuencias y considerando aquellas que puedan desencadenar un accidente, sugiriendo las medidas a adoptar para controlar tales situaciones de peligro.

Se inicia el estudio identificando todos los equipos de la planta y estableciendo sus condiciones normales de proceso. A continuación, para cada equipo, se detallan todos y cada uno de los fallos posibles y se analizan sus posibles consecuencias. Si se da la circunstancia de que una situación de fallo en un equipo produce una alteración en otro, debe trasladarse esta influencia al estudio del equipo afectado.

Una vez conocidas las consecuencias, se deben proponer las acciones de mejora necesarias para eliminar o reducir el peligro.

En general para cada elemento se cumplimenta una tabla con las siguientes columnas: elemento, descripción del equipo, modo de fallo, forma de detección del fallo, efectos del fallo y medidas correctoras.

Requiere poca información y es relativamente económico. Es un análisis cualitativo (aunque admite cierto tratamiento semicuantitativo). Su principal inconveniente es que no contempla la posibilidad de fallos combinados o en secuencia

2.8 Análisis de peligros y operabilidad

Denominado también "Hazard and Operability Análisis" o HAZOP es una técnica de seguridad orientada a identificar circunstancias de peligro y de accidente, siendo la operación (la garantía de funcionamiento) un aspecto secundario.

Esencialmente es un método muy similar al FMEA descrito en el apartado anterior. El HAZOP, sin embargo, es un método absolutamente sistemático, porque se controlan todas y cada una de las variables de proceso, en todos y cada uno de los equipos de la planta.

Su aplicación se fundamenta en la identificación de todos los parámetros del proceso (presión, temperatura, nivel, caudal, etc.) y sus condiciones de trabajo habituales,

analizando de manera sistemática las desviaciones posibles.



Se inicia el estudio identificando los equipos y líneas principales de la planta. Para cada equipo o línea se relacionan todos los parámetros que afectan al sistema y se concretan sus condiciones habituales de proceso. A continuación y ayudados por unas palabras-guía tales como NO, MÁS, MENOS, CONTRARIO, ADEMÁS, PARTE, DIFERENTE, se intenta incentivar la creatividad de los

participantes en el estudio para que identifiquen cuáles serían las consecuencias de que la variable estudiada se desviara de la condición de proceso en la forma indicada por la palabra-guía (más temperatura, menos pH, flujo inverso en bomba, etc.).

Para cada situación peligrosa identificada se propondrán las medidas correctoras oportunas en el sentido de evitar las desviaciones detectadas.

Este método requiere documentación completa y un conocimiento exhaustivo de la planta, de los productos utilizados y de las condiciones de proceso. Está especialmente adaptado a plantas relativamente complejas en las que otros métodos serían totalmente anárquicos. En particular, está mejor preparado para ser usado en plantas de trabajo en continuo, aunque se han desarrollado variantes para procesos por lotes. Su aplicación es económicamente costosa, dada la necesidad de involucrar en el estudio a un cierto número de profesionales cualificados que deberán dedicarle un tiempo considerable.

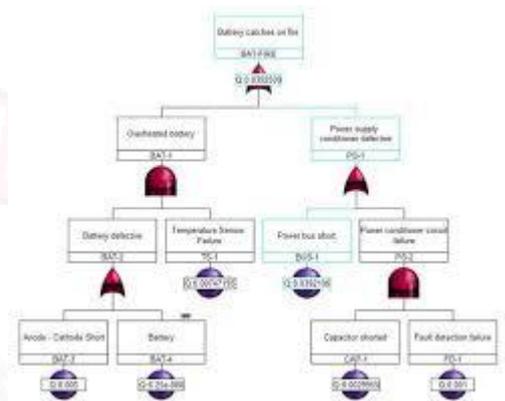
Existen en el mercado numerosos paquetes informáticos que apoyan la realización del análisis.

2.9 Análisis mediante árboles de fallos

El Análisis mediante árboles de fallos (FTA o "Fault Tree Analysis") es una técnica cuantitativa que permite estimar la probabilidad de ocurrencia de un fallo determinado (suceso capital o "top event") a partir del conocimiento de la frecuencia de ocurrencia de los sucesos iniciadores o causales, mediante la utilización de procesos lógicos inductivos y la confección de una secuencia lógica de sucesos, denominada árbol de fallos.

Se inicia su aplicación con la identificación de los sucesos capitales tales como "explosión de un reactor", "fallo del compresor", etc.

Se establecen a continuación los sucesos iniciadores que son capaces, de por sí o en combinación con otros, de desencadenar el suceso capital y se estructura el árbol de fallos mediante puertas lógicas. Se asigna a cada suceso básico la probabilidad de ocurrencia, conocida por propia experiencia o por consulta a bancos de datos sobre la materia, y por último se calcula la probabilidad de los sucesos compuestos mediante la aplicación del álgebra de Boole hasta alcanzar el suceso capital. Asimismo, y dado que las probabilidades asignadas a cada suceso tienen un margen de incertidumbre a veces conocido, es posible estimar también la sensibilidad o grado de certidumbre del resultado final.



La utilización de este método de análisis de riesgos permite un conocimiento exhaustivo de las relaciones causa-efecto existentes entre los diversos fallos posibles del sistema y genera unas recomendaciones de mejora muy concretas (e incluso cuantificadas en cuanto a su eficacia). Sin embargo, requiere mucho tiempo y personal especializado, con un conocimiento completo de la planta en sus distintas etapas de proceso (parada, puesta en marcha, operación, emergencia, etc.).

Se recomienda su utilización en instalaciones complejas en las que concurren muchos aparatos, instrumentos, equipo de control y alarma y sistemas de seguridad. Incluso es aplicable para valorar la incidencia del fallo humano en la probabilidad del suceso capital.

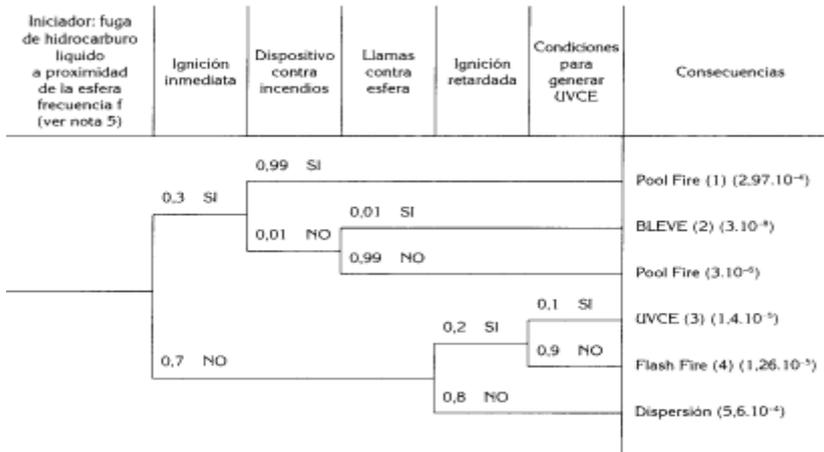
Existen numerosos programas de ordenador como asistentes para el desarrollo de este tipo de análisis, con lo que se evitan algunos errores y se facilita la corrección o modificación (mantenimiento o actualización) de los árboles.

2.10 Análisis mediante árboles de sucesos

Mediante el ETA (Event Tree Análisis) se pretende estructurar la secuencia de eventos básicos que desencadena un tipo de accidente concreto, estableciendo también las probabilidades de ocurrencia, si el conocimiento de los sucesos básicos lo permite. Desde un punto de vista abstracto, es similar al análisis de árboles de fallos.

Sin embargo, los sucesos básicos en este caso no son fallos de los sistemas sino alternativas de las diferentes situaciones que pueden darse.

Para su aplicación se identifican los sucesos básicos o iniciadores y se aplican todas las disyuntivas lógicas que sean procedentes hasta obtener una representación gráfica en forma de árbol horizontal, en la que quedan representadas todas las posibles evoluciones del sistema según se den o no las diferentes alternativas planteadas, hasta los sucesos accidentales finales (nube de gas, deflagración, dispersión, etc.)



Por su especificidad y grado de desarrollo, son aplicables a las mismas instalaciones y bajo las mismas condiciones que los árboles de fallos

2.11 Análisis de causas y consecuencias

Permite un análisis cuantitativo de los eventos de fallo en sistemas complejos, partiendo de sucesos capitales y factores condicionantes, con lo que al final se obtiene un árbol de causas/consecuencias. Es una combinación de árboles de fallos y árboles de sucesos por lo que también se utilizan símbolos lógicos y asignación de probabilidades a cada uno.

Se elige un suceso principal como origen de la evaluación, se identifican los sucesos condicionantes y se establece la secuencia lógica de acontecimientos incluyendo las disyuntivas existentes. En este árbol se mezclan eventos "fallos" con eventos "sucesos".

Su aplicación requiere conocer muy bien la instalación y tener experiencia en el desarrollo de este tipo de análisis. Es laborioso y se necesita soporte informático para llevarlo a cabo. Los resultados obtenidos son muy detallados y permiten, como en el caso de los árboles de fallos y de sucesos, cuantificar la utilidad de las medidas correctoras propuestas

2.12 Índices de riesgo

Son procedimientos de aplicación relativamente simple a instalaciones complejas, en las que se evalúan una serie más o menos detallada de parámetros y se cuantifican unos valores que permiten una evaluación del nivel de riesgo de la instalación analizada. Existe un buen número de ellos, cada uno con sus especificidades.

Son métodos de aplicación simple y económica ya que con la cumplimentación razonada de una lista de comprobación, se obtienen de forma más o menos inmediata

unos valores orientativos del riesgo intrínseco de la actividad e incluso pueden determinarse los factores que más contribuyen a incrementar este riesgo. Sin embargo, su grado de descripción de la instalación es limitado, por lo que los resultados obtenidos son genéricos y pueden pasar por alto multitud de factores, agravantes o no.

Risk Analysis

		LIKELIHOOD					
		A Practically Impossible	B Not likely to occur	C Could occur or I've heard of it before	D It is known to occur or "it has before"	E Common or occurs frequently	
C O N S E Q U E N C I A S	1	First Aid Injury	Low	Low	Medium	Medium	High
	2	Medical treatment injury	Low	Medium	Medium	High	Extreme
	3	Lost Time Injury less than 7 days	Medium	Medium	High	Extreme	Extreme
	4	LTI > 7 days PTD or fatality	Medium	High	Extreme	Extreme	Extreme
	5	Multiple PTD or fatalities	High	High	Extreme	Extreme	Extreme

Low	Monitor and manage
Medium	Monitor and maintain strict measures
High	Review and introduce additional controls to lower the level of risk
Extreme	Do not proceed - Immediately introduce further control measures to lower the risk. Re assess before proceeding

3 METODOS CUALITATIVOS

El objeto de este apartado consiste en describir y analizar los distintos métodos cualitativos que se pueden utilizar para completar las etapas principales de un análisis de riesgos: identificación del riesgo, evaluación cualitativa de frecuencias y consecuencias.

Se incluyen en este apartado todas las técnicas que recurren a una valoración cualitativa o semicualitativa y no a una medida numérica del fenómeno analizado; si bien en los métodos semicualitativos, se utilizan valores numéricos, éstos no se consideran como valores absolutos sino como índices relativos de ponderación.

3.1 Análisis histórico de accidentes

Consiste en estudiar los accidentes registrados en el pasado en plantas similares o con productos idénticos o de la misma naturaleza.

Se basa en informaciones de procedencia diversa:

- Bibliografía especializada (publicaciones periódicas y libros de consulta).
- Bancos de datos de accidentes informatizados.
- Registro de accidentes de la propia empresa, de asociaciones empresariales o de las autoridades competentes.
- Informes o peritajes realizados normalmente sobre los accidentes más importantes.

Algunos factores que se deben considerar al plantear y desarrollar un análisis histórico de accidentes son:

- Determinar la definición de accidentes a analizar:
 - Tipo de accidentes a ser estudiados (productos, instalaciones).
 - Identificación exacta del accidente:
 - Lugar.
 - Fecha y hora.
 - Productos implicados.
 - Instalación o equipos implicados.
- Identificación de las causas de los accidentes:
 - Errores humanos.
 - Fallo de equipos.
 - Fallo de diseño o de proceso.
- Identificación del alcance de los daños causados:
 - Pérdida de vidas.
 - Heridos.
 - Daños al medio ambiente.
 - Pérdidas en instalaciones y daños materiales.
 - Evacuación de personas, otras medidas, etc.
 - Impacto en la población en general.
- Descripción y valoración de las medidas aplicadas y, si es posible, de las estudiadas para evitar la repetición del accidente.



3.1.1 Ambito de aplicación

Aplicación útil principalmente para el establecimiento de posibles riesgos en una instalación.

Puede ser de utilidad para hacer una aproximación cuantitativa de la frecuencia de determinados tipos de accidentes, en caso de disponerse de una base estadística suficientemente representativa.

De especial utilidad cuando se aplica a procesos y productos de utilización masiva o frecuente (productos energéticos, productos químicos de base).

Los resultados obtenidos dependen mucho de la calidad y de la información disponible en las fuentes de información consultadas.

3.1.2 Recursos necesarios

Esta es una técnica relativamente poco costosa dentro del campo del análisis de riesgo. El proceso consta de la consulta a la fuente o fuentes de información seleccionadas y posteriormente un trabajo de selección y elaboración estadística de los resultados obtenidos.

3.1.3 Soportes informáticos

Entre los principales bancos de datos de accidentes industriales se pueden citar: OSIRIS-1, OSIRIS-2, FACTS, MHIDAS (Major Hazards Incident Data Service) y el banco de datos desarrollados por el Centro de Investigación de la CEE de ISPRA: MARS (Major Accident Reporting System). En principio, todos ellos recogen los accidentes ocurridos en cualquier país del mundo, si bien cada banco ofrece normalmente mayor número de accidentes sobre su propio país, por la lógica mayor facilidad en cuanto a obtención de datos.

3.1.4 Ventajas/Inconvenientes

3.1.4.1 Ventajas:

El establecimiento de hipótesis de accidentes se basa en casos reales.

3.1.4.2 Inconvenientes:

Los accidentes sobre los que se puede encontrar una documentación completa son únicamente los «más importantes».

En los bancos de datos informatizados, con frecuencia los datos reflejados son insuficientes; las causas quedan a menudo sin identificar. En algunos casos, existen referencias que aportan documentación adicional pública microfilmada.

Los datos a menudo no son extrapolables a instalaciones de diseños diferentes. Los accidentes producidos en el pasado han tenido en general respuestas en modificaciones o prácticas operativas más seguras que hacen que sea más difícil que se reproduzcan en condiciones similares.

3.2 Check lists

«Check lists» o listas de comprobación, son utilizadas usualmente para determinar la adecuación a un determinado procedimiento o reglamento. La primera referencia bibliográfica al método es de 1971, artículo publicado por Millar and Howard en la revista inglesa *Major Loss Prevention in Process Industries (London Institution of Chemical Engineers)*.

Son listas de fácil aplicación y pueden ser utilizadas en cualquier fase de un proyecto o modificación de una planta. Es una manera adecuada de evaluar el nivel mínimo aceptable de riesgo de un determinado proyecto; evaluación necesaria en cualquier trabajo independientemente de sus características.

Muchas organizaciones utilizan las listas de inspección estandarizadas para seguimiento y control de las diferentes fases de un proyecto.

3.2.1 Ambito de aplicación

Ya se ha mencionado que son aplicables a todas las fases de un proyecto, y poseen, además, la doble vertiente de comunicación entre miembros del proyecto y control del mismo.

A título recordatorio, podemos indicar su empleo en:

- Diseño.
- Construcción.
- Puesta en marcha.
- Operación.
- Paradas.

El resultado de la aplicación de estas listas es la identificación de riesgos comunes y la adecuación a los procedimientos de referencia.

Los resultados son siempre cualitativos pero suelen limitarse al cumplimiento o no de las normas de referencia,

3.2.2 Recursos necesarios

Las listas de inspección deben ser preparadas por personas de gran experiencia.

Es necesario disponer de las normas o estándares de referencia, así como de un conocimiento del sistema o planta a analizar.

Pueden ser puestas en práctica por un titulado sin gran experiencia, aunque los resultados deben ser supervisados por alguien con experiencia.

3.2.3 Ventajas/Inconvenientes

Es un método que permite comprobar con detalle la adecuación de las instalaciones.

Constituye una buena base de partida para complementarlo con otros métodos de identificación que tienen un alcance superior al cubierto por los reglamentos e instrucciones técnicas.

Es un método que examina la instalación solamente desde el punto de vista de cumplimiento de un reglamento o procedimiento determinado.

3.2.4 Ejemplos

Normalmente las listas de Inspección (Check lists) son puestas a punto por cada compañía en particular y para uso propio.

Existen diferentes manuales, normas y estándares que facilitan o incluyen en sus disposiciones ejemplos de listas de inspección.

Se indica a continuación un breve ejemplo de un «check list» pensando en un diseño final de un proceso, contemplando las etapas apuntadas en el apartado 2.1.2.2 de esta Guía.

a) Diseño

SUSTANCIAS: Ver los aspectos característicos de todas las sustancias presentes en el proceso (materias primas, intermedias, catalizadores, productos finales):

- Inflamabilidad
- Explosividad
- Toxicidad
- Corrosividad y compatibilidad
- Vertidos
- Almacenamientos
- Electricidad estática (conductividad, facilidad de acumulación)
- Reactividad

EQUIPOS: Revisar el diagrama de flujo y las listas de equipos para identificar los riesgos asociados a cada componente:

- Especificaciones de diseño (coeficientes de seguridad, temperatura, presión, flujo, nivel y otras variables de proceso)
- Alivios de presión
- Distribución en planta
- Equipos eléctricos

CHECK LIST RIESGO ELÉCTRICO						
Nombre de proyecto:		Proyecto: Unidad C.A. de Purificación		Fecha de implementación: 2019/01/15		
Elaborado por:		Dr. Henry Martínez				
ID	Actividad	PREV	RECURSOS	OPC	OTR	OBSERVACIONES
1	Revisión de la lista de materiales de los equipos eléctricos y actualización del material y el estado de la maquinaria eléctrica					Mantenimiento de equipos existentes del 2018
2	Revisión de los planos de los equipos eléctricos					No hay datos
3	Revisión de los datos de los equipos eléctricos de los gases					Hay que añadir a los gases
4	Prueba de funcionamiento de los tipos de emergencia					Mantenimiento en año 2018
5	Revisión de los tipos de emergencia y verificación de los tipos de emergencia					Verificar que estén actualizados y verificados en el estado de emergencia
6	Revisión de los tipos de emergencia y verificación de los tipos de emergencia					Cabe revisar los tipos
7	Revisión de los tipos de emergencia y verificación de los tipos de emergencia					Hay que revisar el estado de emergencia en punto de trabajo
8	Revisión de los tipos de emergencia y verificación de los tipos de emergencia					
9	Revisión de los tipos de emergencia y verificación de los tipos de emergencia					
10	Revisión de los tipos de emergencia y verificación de los tipos de emergencia					
11	Revisión de los tipos de emergencia y verificación de los tipos de emergencia					Es necesario revisar los datos de los
12	Revisión de los tipos de emergencia y verificación de los tipos de emergencia					Don 7 en conjunto a 1 en trabajo de día
13	Revisión de los tipos de emergencia y verificación de los tipos de emergencia					Hay que revisar y hacer tiempo
14	Revisión de los tipos de emergencia y verificación de los tipos de emergencia					Hay que revisar los datos de los
15	Revisión de los tipos de emergencia y verificación de los tipos de emergencia					Hay que revisar los datos de los
16	Revisión de los tipos de emergencia y verificación de los tipos de emergencia					Hay que revisar los datos de los
17	Revisión de los tipos de emergencia y verificación de los tipos de emergencia					Hay que revisar los datos de los

PROCEDIMIENTOS: Durante el diseño deben revisarse los procedimientos para puesta en marcha, parada y emergencia:

- Reacción de los operadores de planta y de los sistemas de instrumentación y control ante incendios, explosiones, fugas tóxicas, fallos de alimentación eléctrica, fallos de refrigeración, fallos de vapor, fallos de instrumentación, fallos de gas inerte, etc.
- Posibles «by pass» de los enclavamientos durante la puesta en marcha o las paradas
- Situación frente a grandes desastres naturales
- Análisis de posibles efectos sinérgicos, efecto dominó, ...

b) Construcción

Deben revisarse las posibles ingerencias durante la construcción con instalaciones adyacentes.

c) Puesta en marcha

Deben extremarse los cuidados en esta fase crítica, que requiere toda la atención para evitar errores:

- Sustancias, incluyendo las que estén fuera de especificación.
- Equipos (purgas de aire, bridas ciegas, posición de válvulas, identificación de piezas, instrumentación, paneles de control, señalización, alarma).
- Procedimientos (preparación previa, formación, emergencia).

d) Operación

Cuando una planta se opera durante un cierto tiempo, existe la tendencia a olvidarse de los riesgos. Debe cuidarse el mantener al día la atención para la identificación y minimización de riesgos:

SUSTANCIAS: Verificando que sigan cumpliéndose aspectos fundamentales como:

- Recepción de todas las partidas según especificaciones. Características de peligrosidad
- Sistema de seguridad y contraincendios adecuados y operativos

EQUIPOS:

- Inspecciones según previsiones iniciales
- Sistemas de alivio de presión
- Pruebas de los sistemas de seguridad y enclavamientos
- Recambios adecuados y disponibles

PROCEDIMIENTOS:

- Puesta al día de todos ellos
- Seguimiento por los operadores
- Formación del personal nuevo
- Comunicación de cambios
- Permisos de trabajos
- Medidas de seguridad para reparaciones, subcontratistas, etc.

e) Paradas

Esta fase frecuentemente se omite y, sin embargo, pueden provocarse serios peligros si no se presta la debida atención:

SUSTANCIAS

- Inventario de sustancias a ser evacuadas
- Purgas o barridos con inertes

EQUIPOS:

- Eliminación de sustancias en su interior, incluyendo tuberías
- Colocación de barreras ciegas en los puntos adecuados

PROCEDIMIENTOS: Comunicación del procedimiento de parada al personal concernido.

GESTION DE RESIDUOS PELIGROSOS O CONTAMINANTES

3.3 Análisis preliminar de riesgos

Bajo el nombre inglés de Preliminary Hazard Analysis (PHA) este método fue desarrollado inicialmente por las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos de América e incorporado posteriormente bajo diferentes nombres por algunas compañías químicas.

El Análisis Preliminar de Riesgos (APR en adelante) fue el precursor de otros métodos de análisis más complejos y es utilizado únicamente en la fase de desarrollo de las instalaciones y para casos en los que no existen experiencias anteriores, sea del proceso, sea del tipo de implantación.

El APR es utilizada para evaluar los riesgos de un proceso, considerando siempre la operación de equipos. Basado en los criterios de aceptabilidad de riesgos definidos por el APR, se lograra determinar la necesidad de tomar acciones preventivas o de mitigación anticipada en los escenarios identificados haciendo uso de esta herramienta.

El APR selecciona los productos peligrosos y los equipos principales de la planta.

El APR se puede considerar como una revisión de los puntos en los que pueda ser liberada energía de una forma incontrolada.

Fundamentalmente, consiste en formular una lista de estos puntos con los peligros ligados a:

- Materias primas, productos intermedio o finales y su reactividad. Equipos de planta.
- Límites entre componentes de los sistemas.
- Entorno de los procesos.
- Operaciones (pruebas, mantenimiento, puesta en marcha, paradas, etc.).
- Instalaciones.
- Equipos de seguridad.

Los resultados de este análisis incluyen recomendaciones para reducir o eliminar estos peligros. Estos resultados son siempre cualitativos, sin ningún tipo de priorización.

Se utiliza preferentemente para la identificación de riesgos en la fase de diseño previo de nuevas instalaciones para prever los principales y profundizar en el resto de riesgos en el diseño final.

3.3.1 Recursos necesarios

Debe disponerse de los criterios básicos de diseño de la planta, especificaciones básicas de equipos principales y especificaciones de materiales.

Este método puede ser desarrollado por uno o dos técnicos con conocimientos y experiencias en seguridad. En algunos casos, puede ser aplicado por personal con relativamente poca experiencia.

Con todo lo comentado hasta aquí, está claro que el esfuerzo necesario para el desarrollo de un APR es mucho menor que otros métodos de mayor complejidad que se comentarán más adelante.

3.3.2 Ventajas/Inconvenientes

Es un método que requiere relativamente poca inversión en su realización, por lo que es adecuado para examinar los proyectos de modificaciones o plantas nuevas en una etapa inicial.

En instalaciones existentes no es un método adecuado para entrar en el detalle de los riesgos asociados a las mismas.

3.3.3 Ejemplos

Para realizar un APR deben cubrirse las siguientes etapas:

- Recogida de la información necesaria.
- Realización del APR propiamente dicho.
- Informe de resultados
- Estas etapas consisten en:

a) Información necesaria:

Debe recogerse la información existente en relación con la nueva planta, incluyendo aquella referente a instalaciones semejantes o en plantas con otros procesos pero con equipos o materiales semejantes.

Son informaciones básicas las del propio proceso, así como las referentes a los equipos principales, y las del entorno en el que la planta será operada.

Son fundamentales las informaciones en relación con anteriores procesos, y otras plantas semejantes.

b) Realización del APR:

El objetivo principal del APR es identificar los peligros, los sucesos iniciadores y otros sucesos que provoquen consecuencias indeseables. Pueden identificarse, asimismo, criterios de diseño o alternativas que contribuyan a eliminar o reducir estos peligros o riesgos.

Deben considerarse los siguientes puntos:

- Equipos y materiales peligrosos (combustibles, sustancias altamente reactivas, tóxicas, sistemas de alta presión, etc.).
- Interrelaciones peligrosas entre equipos y sustancias (iniciación y propagación de fuegos y explosiones, sistemas de control y paro).
- Factores ambientales (vibraciones, humedad, temperaturas externas, descargas eléctricas).
- Procedimientos de operación, pruebas, mantenimiento y emergencias (errores humanos, distribución de equipos, accesibilidad, protección personal).
- Instalaciones (almacenamientos, equipos de pruebas, formación).
- Equipos de seguridad (sistemas de protección, redundancias, sistemas contra incendios, equipos de protección personal).

c) *Informe de los resultados:*

Los resultados del APR deben ser registrados adecuadamente de forma que se vea claramente los peligros identificados, la causa, la consecuencia potencial, y las diferentes medidas preventivas o correctivas.

Para el desarrollo óptimo del APR se debe considerar lo siguiente:

1. **Evaluación paso a paso:** Esto quiere decir que se debe proceder al análisis en orden de acuerdo a los acontecimientos, sin excluir pasos básicos preliminares. Ejemplo preparación del área de trabajo, traslado de herramientas, uso de herramientas, etc.
2. **Identificación de los peligros presentes en cada paso:** esto quiere decir que no minimizar ninguna etapa, ya que por muy simple que parezca tiene peligros para la integridad de las personas. Por tanto se deben considerar todas aquellas situaciones de peligro que estén ligadas a este paso de alguna tarea en particular.
3. **Valoración del Peligro:** esto nos permitirá cuantificar el impacto que este podría tener en las personas, equipos materiales o medio ambiente.
4. **Establecer e Implementar las Medidas de Control:** Las medidas de control deben ser definitivamente específicas para cada peligro, a fin de tratarlo con la mayor eficiencia, logrando anular las posibilidades de que el peligro cause daño.
5. **Establecer responsabilidades:** Es decir se debe determinar la responsabilidad de "quién" en cada control implementado esta encargado de la Supervisión o asesoramiento en Prevención de Riesgos.

- Aprobación del Documento:** La aprobación de un APR debe ser realizada por el encargado prevencionista de cada área.

Los resultados obtenidos en un APR deben ser registrados adecuadamente de forma que se visualice claramente los peligros identificados, así como la causa, la consecuencia potencial que lo produce, y las diferentes medidas preventivas o correctivas.

3.4 Análisis «What If ... ?» (¿Qué pasa si ... ?)

La traducción literal de este nombre podría ser «¿Qué pasa si ... ?»; es un método de análisis que no es tan estructurado como otros HAZOP o FMEA, y necesita la adaptación por parte del usuario al caso particular que se pretende analizar.

Como su nombre sugiere, consiste en cuestionarse el resultado de la presencia de sucesos indeseados que pueden provocar consecuencias adversas.

El método exige el planteamiento de las posibles desviaciones desde el diseño, construcción, modificaciones de operación de una determinada instalación.

Evidentemente, requiere un conocimiento básico del sistema y la disposición mental para combinar o sintetizar las desviaciones posibles ya comentadas, por lo que normalmente es necesaria la presencia de personal con amplia experiencia para poder llevarlo a cabo.

3.4.1 Ámbito de aplicación

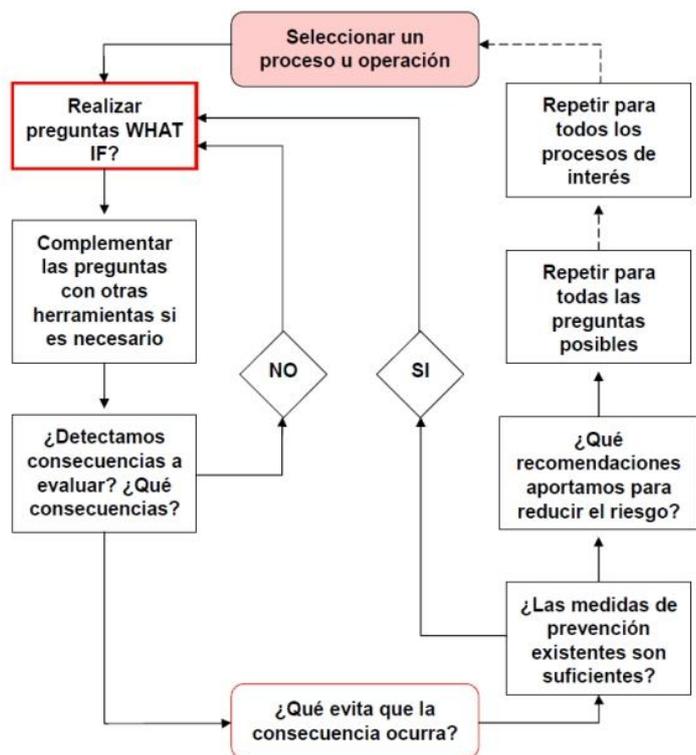
El método tiene un ámbito de aplicación amplio ya que depende del planteamiento de las preguntas que pueden ser relativas a cualquiera de las áreas que se proponga la investigación como: seguridad eléctrica, protección contra incendios, seguridad personal, etc.

Las preguntas se formulan en función de la experiencia previa y se aplican, tanto a proyectos de instalación, como a plantas en operación, siendo muy común su aplicación ante cambios propuestos en instalaciones existentes.

3.4.2 Recursos necesarios

Normalmente las cuestiones se formulan por un equipo de dos o tres personas especialistas en las áreas apuntadas en el apartado anterior, los cuales necesitan documentación detallada de la planta, del proceso, de los procedimientos y posibles entrevistas con personal de operación.

ESQUEMA DEL MÉTODO WHAT IF?



El resultado del trabajo será un listado de posibles escenarios incidentales, sus consecuencias y las posibles soluciones para la reducción del riesgo.

3.4.3 Ventajas/Inconvenientes

Es un método menos estructurado que el HAZOP y FMEA, por lo que su aplicación es más sencilla, sin embargo su exhaustividad depende más del conocimiento y experiencia del personal que lo aplica.

3.4.4 Ejemplos

Normalmente el equipo de trabajo empieza sus preguntas en el comienzo del proceso y las prosigue a lo largo del mismo. En ocasiones el método puede centrarse en determinadas consecuencias específicas (seguridad personal, por ejemplo).

Se van anotando sucesivamente todas las preguntas, y respuestas, incluyendo peligros, consecuencias y soluciones. El estudio se contempla recopilando los comentarios de todos los equipos y revisando las recomendaciones por parte del nivel adecuado de gerencia.

Las etapas fundamentales de un análisis What If son:

- Definición del alcance del estudio.
- Recogida de la información necesaria.
- Definición de los equipos.
- Desarrollo de las cuestiones.
- Informe de resultados.

Las características básicas de cada etapa son las siguientes:

a) *Definición del alcance del estudio*

Existen dos alcances básicos en un análisis What If: las condiciones físicas del sistema investigado y la categoría de las consecuencias del mismo.

Debe definirse en primer lugar la categoría de las consecuencias (para el público, para los trabajadores de la planta o económicas), siendo que, a su vez, estas categorías pueden subdividirse en otras menores. Una vez definidas estas categorías, puede definirse el alcance físico del estudio, incluyendo posibles interacciones entre diferentes partes de la planta.

b) *Recogida de la información necesaria*

Es necesaria que toda la información requerida se encuentre disponible al inicio del trabajo para poder desarrollarlo sin interrupciones. Un resumen típico de la información requerida se muestra a continuación.

La última parte de la recogida de la información es la preparación de las preguntas. En este aspecto, otros métodos como las Listas de Inspección o Check List o el HAZOP pueden sugerir ideas para el desarrollo de las preguntas.

c) Definición del equipo de trabajo

Para cada área específica deben definirse equipos de dos o tres personas. Cada equipo debe poseer:

El equipo debe ser multidisciplinar e incluir puntos de vista de producción, fabricación, mantenimiento, ingeniería y seguridad.

d) Desarrollo del cuestionario

La revisión empieza con una explicación básica del proceso, utilizando la información disponible de la planta, por parte del mejor conocedor del sistema.

Los equipos no es necesario que trabajen aislados, sino que es conveniente que intercambien cuestiones para asegurar el buen camino del proceso. Es conveniente que trabajen en días alternos y con una dedicación diaria de cuatro a seis horas como máximo.

El equipo va formulando las preguntas desde el inicio del proceso y va respondiendo las mismas y, eventualmente, añadiendo nuevas cuestiones; y va identificando los peligros, las posibles consecuencias y las soluciones.

Se considera, como ejemplo simplificado, un proceso de fabricación en continuo de fosfato diamónico (PAD) por reacción de ácido fosfórico con amoníaco. El PAD es inocuo. Si se reduce la proporción de fosfórico, la reacción no se completa y se desprende amoníaco. Si se reduce el amoníaco, se obtiene un producto seguro pero indeseable.

Se destina un equipo a investigar los peligros de la reacción para las personas.

Las cuestiones planteadas por What If ... ? son las siguientes:

¿Qué ocurre si ... ?:

Para la primera cuestión, se analizarían las sustancias presentes en la planta o disponibles por el suministrador de ácido fosfórico que pudieran ser incompatibles con el amoníaco, provocando daños en las personas. Deberá asegurarse un sistema de preidentificación de estos posibles productos para evitar su introducción en el tanque de ácido fosfórico. Así continúan las respuestas en todo el proceso.

e) Resultados

Como en otros estudios, la presentación de los resultados es básica para garantizar una aplicación correcta de las conclusiones.

Estas deberán ser revisadas por el director de planta para garantizar que las conclusiones son transmitidas a cada uno de los responsables por las diferentes actuaciones.

A continuación se adjunta un ejemplo de presentación de resultados, para el ejemplo anterior.

¿Qué ocurre sí?	Consecuencias	Recomendaciones
...¿se suministra producto de mala calidad?	No identificada	---
...¿la concentración de fosfórico es incorrecta?	No se consume todo el amoníaco y hay una fuga en la zona de reacción	Verificar la concertación de fosfórico antes de la operación
...¿el fosfórico está contaminado?	No identificada	---
...¿no llega fosfórico al reactor?	El amoníaco no reacciona. Fuga en la zona de reacción	Alarma/corte del amoníaco por señal de falta de flujo en la línea de fosfórico al reactor
...¿demasiado amoníaco en el reactor?	Exceso de amoníaco. Fuga en la zona de reacción	Alarma/corte del amoníaco por señal de falta de flujo en la línea de fosfórico al reactor

3.5 Análisis funcional de operatividad (HAZOP)

El método nació en 1963 en la compañía ICI (Imperial Chemical Industries), en una época en que se aplicaba en otras áreas las técnicas de análisis crítico. Estas técnicas consistían en un análisis sistematizado de un problema a través del planteamiento y respuestas a una serie de preguntas (¿cómo?, ¿cuándo?, ¿por qué? ¿quién?, etc.). La aplicación de estas técnicas al diseño de una planta química nueva puso de manifiesto una serie de puntos débiles del diseño.

El método se formalizó posteriormente y ha sido hasta ahora ampliamente utilizado en el campo químico como una técnica particularmente apropiada a la identificación de riesgos en una instalación industrial.

El HAZOP o AFO (Análisis Funcional de Operatividad) es una técnica de identificación de riesgos inductiva basada en la premisa de que los accidentes se producen como consecuencia de una desviación de las variables de proceso con respecto de los parámetros normales de operación. La característica principal del método es que es realizado por un equipo pluridisciplinario de trabajo.

La técnica consiste en analizar sistemáticamente las causas y las consecuencias de unas desviaciones de las variables de proceso, planteadas a través de unas «palabras guías».

1. Definición del área de estudio

La primera fase del estudio HAZOP consiste en delimitar las áreas a las cuales se aplica la técnica. En una instalación de proceso, considerada como el sistema objeto de estudio,

se definirán para mayor comodidad una serie de subsistemas o unidades que corresponden a entidades funcionales propias, como por ejemplo: preparación de materias primas, reacción, separación de disolventes...

2. Definición de los nodos

En cada subsistema se identificarán una serie de nudos o puntos claramente localizados en el proceso. Unos ejemplos de nudos pueden ser: tubería de alimentación de una materia prima un reactor aguas arriba de una válvula reductora, impulsión de una bomba, superficie de un depósito, ... Cada nudo será numerado correlativamente dentro de cada subsistema y en el sentido de flujo proceso para mayor comodidad. La técnica

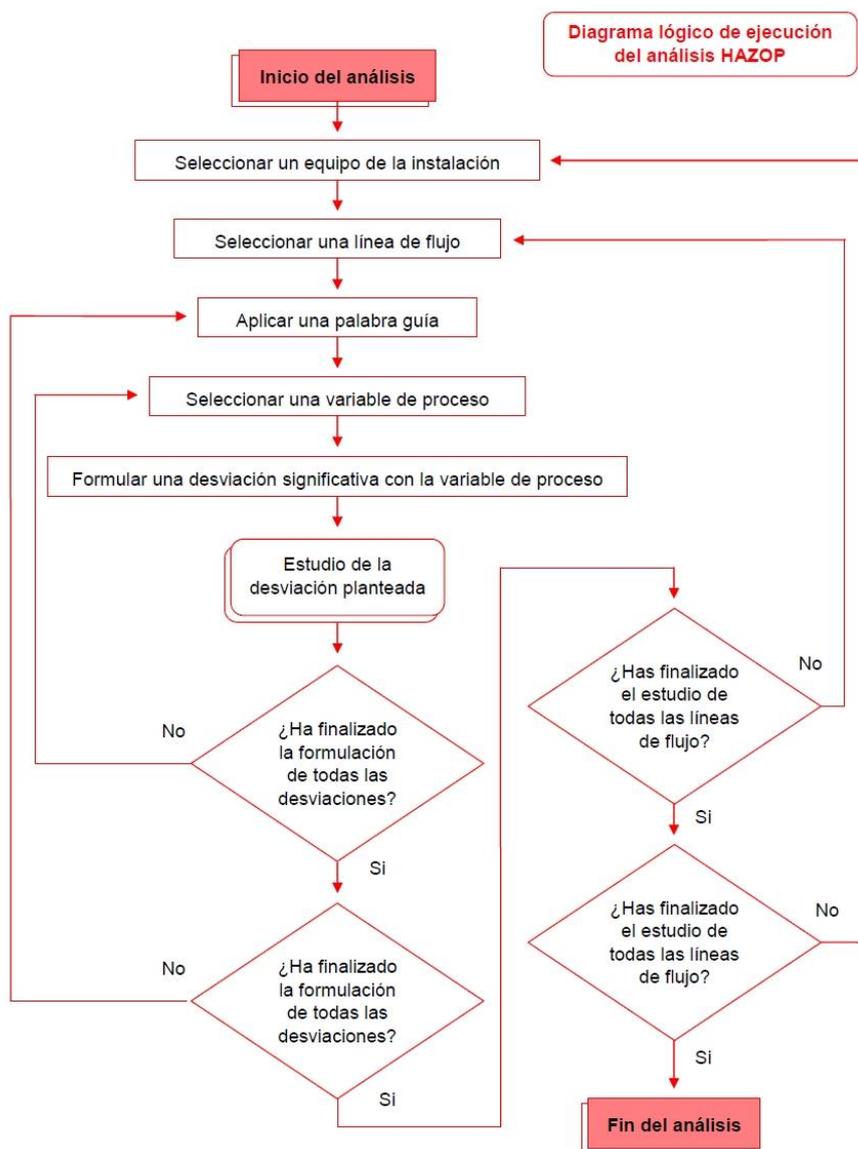
HAZOP se aplica a cada uno de estos puntos. Cada nudo vendrá caracterizado por unos valores determinados de las variables de proceso: presión, temperatura, caudal, nivel, composición, viscosidad, estado, etc.

Los criterios para seleccionar los nudos tomarán básicamente en consideración los puntos del proceso en los cuales se produzca una variación significativa de alguna de las variables de proceso.

Es conveniente, a efectos de la reproducibilidad de los estudios reflejar en unos esquemas simplificados (o en los propios diagramas de tuberías e instrumentación), los subsistemas considerados y la posición exacta de cada nudo y su numeración en cada subsistema.

Es de notar que por su amplio uso la técnica tiene variantes en cuanto a su utilización que se consideran igualmente válidas. Entre estas destacan, por

ejemplo, la sustitución del concepto de nudo por el de tramo de tubería o la identificación nudo-equipo.



3. Definición de las desviaciones a estudiar:

Para cada nodo se planteará de forma sistemática las desviaciones de las variables de proceso aplicando a cada variable una palabra guía. En la tabla, se indican las

Resumen de palabras guía y variaciones de proceso.			
Palabra guía	Significado	Parámetro de proceso	Ejemplos de desviación
NO	Negación de la intención del diseño.	Temperatura Presión Nivel Reacción Composición Caudal Velocidad Tiempo Viscosidad Mezcla Voltaje Adición Separación pH	"No" + "Caudal" = Falta de caudal
MENOS	Disminución cuantitativa.		"Menos" + "Nivel" = Bajo nivel
MÁS	Aumento cuantitativo.		"Más" + "Presión" = Presión excesiva
OTRO	Sustitución parcial o total.		"Otra" + "Composición" = Presencia de impurezas
INVERSA	Función opuesta a la intención de diseño.		"Inverso" + "Caudal" = Flujo inverso

principales palabras guía y su significado.

El HAZOP puede consistir en una aplicación exhaustiva de todas las combinaciones posibles entre palabra guía y variable de proceso, descartándose durante la sesión las desviaciones que no tengan sentido para un nudo determinado. Alternativamente, se puede fijar a priori en una fase previa de preparación del HAZOP la lista de las desviaciones esenciales a estudiar en cada nudo. En el primer caso se garantiza la exhaustividad del método, mientras que en el segundo el estudio «más dirigido» puede resultar menos laborioso.

4. Sesiones HAZOP:

Estudio de la desviación
<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de las posibles causas. • Identificación de las consecuencias posibles. • Identificación de las medidas de protección. • Evaluación de la aceptación del riesgo asignado al peligro identificado. • Propuesta de las medidas correctoras necesarias.

Las sesiones HAZOP tienen como objetivo inmediato analizar las desviaciones planteadas de forma ordenada y siguiendo un formato de recogida.

El estudio de las desviaciones conduce a la identificación de las posibles causas y consecuencias, lo cual nos mostrará el riesgo potencial y los problemas

derivados de un funcionamiento incorrecto. Toda esta información será ordenada en una tabla, lo cual nos permitirá una evaluación cuantitativa de las medidas de control y seguridad, para la implementación de nuevas medidas

El documento de trabajo principal utilizado en las sesiones son los diagramas de tuberías e instrumentación aunque puedan ser necesarias consultas a otros documentos: diagramas de flujo o flow sheet, manuales de operación, especificaciones técnicas, etc.

Para plantas de proceso discontinuo, al ser secuencial el proceso, el planteamiento difiere y la reflexión tiene que llevarse a cabo para cada paso del proceso.

5. Informe final

El informe final de un HAZOP constará de los siguientes documentos:

Columna	Contenido
Causas	Describe numerándolas las distintas causas que pueden conducir a la desviación.
Consecuencias	Para cada una de las causas planteadas, se indican con la consiguiente correspondencia en la numeración las consecuencias asociadas.
Respuesta del sistema	Se indicará en este caso: 1. Los mecanismos de detección de la desviación planteada según causas o consecuencias (p.ej.: alarmas). 2. Los automatismos capaces de responder a la desviación planteada según causas (p.ej.: lazo de control).
Acciones a tomar	Propuesta preliminar de modificaciones a la instalación en vista a la gravedad de la consecuencia identificada o a una desprotección flagrante de la instalación.
Comentarios	Observaciones que complementan o apoyan algunos de los elementos reflejados en las anteriores columnas.

Planta:
Sistema:

Nudo	Palabra guía	Desviación de la variable	Posibles causas	Consecuencias	Respuesta Control	Señalización	Acciones a tomar	Comentarios

Planta:
Unidad:
Subsistema:

Nudo	Operación	Palabra guía	Desviación de la variable	Posibles causas	Consecuencias	Señalización	Actuación	Acción requerida	Observaciones

3.5.1 Ambito de aplicación.

El método encuentra su utilidad, principalmente, en instalaciones de proceso de relativa complejidad, o en áreas de almacenamiento con equipos de regulación o diversidad de tipos de trasiego.

Es particularmente provechosa su aplicación en plantas nuevas porque puede poner de manifiesto fallos de diseño, construcción, etc. que han podido pasar desapercibidos en la fase de concepción. Por otra parte, las modificaciones que puedan surgir del estudio pueden ser más fácilmente incorporadas al diseño.

Aunque el método esté enfocado básicamente a identificar sucesos iniciadores relativos a la operación de la instalación, por su propia esencia, también puede ser utilizado para sucesos iniciadores externos a la misma.

3.5.2 Recursos necesarios

La característica principal de la técnica es que se realiza en equipo en sesiones de trabajo dirigidas por un coordinador. El equipo de trabajo debería de estar compuesto, como mínimo, por:

- Responsable de proceso.
- Responsable de la operación de la planta.
- Responsable de seguridad.
- Responsable del mantenimiento.
- Coordinador.

Adicionalmente se puede recurrir a consultas puntuales a técnicos de otras áreas como instrumentación, laboratorio, etc. En una planta en fase de diseño se completará el equipo con un responsable del diseño, uno de proyecto y el futuro responsable de la puesta en marcha.

Las personas que toman parte en las sesiones deberán de ser personas:

- Muy conocedoras de la planta y expertas en su campo.
- Dispuestas a participar activamente.

No es necesario que tengan un conocimiento previo del método en sí.

Una de las personas que formen parte del equipo de trabajo tendrá encomendada la labor de transcripción de las sesiones de forma precisa y lo más completa posible. Deberá tener capacidad de síntesis y un buen conocimiento tanto de la instalación como del método.

Destaca en el método el papel del coordinador quien conduce las sesiones. Deberá de ser una persona:

- Relativamente «objetiva».
- Con un buen conocimiento del método.
- Con amplia experiencia industrial.

- Con capacidad de organización (debe potenciar la participación de todos los presentes, cortar disquisiciones improductivas, estimular la imaginación, favorecer un ambiente de colaboración y competencia «sanos», etc.).

En promedio se podría evaluar en tres horas el tiempo de dedicación necesario para cada nudo a estudiar repartidas en partes iguales en:

- Preparación.
- Sesión.
- Revisión y análisis de resultados.

siendo las actividades primera y última las realizadas por el coordinador.

3.5.3 Soportes informáticos.

Existen algunos códigos informáticos que permiten registrar las sesiones de HAZOP de forma directa. Entre ellos se puede citar: el código desarrollado por la compañía Dupont de Nemours, HAZSEC (compañía Technica), HAZTRAC (Technica), HAZOP (compañía ITSEMAP), etc. Guían al técnico durante las sesiones y permiten en general una posterior agrupación y clasificación de las recomendaciones surgidas en el estudio.

3.5.4 Ventajas/Inconvenientes.

Además de cubrir los objetivos para los cuales se utiliza el método, se pueden destacar, entre otras, las siguientes ventajas adicionales al método:

1. Ocasión perfecta y quizás «única» para contrastar distintos puntos de vista de una planta.
2. Es una técnica sistemática que puede crear desde el punto de vista de seguridad hábitos metodológicos útiles.
3. El coordinador mejora su conocimiento del proceso.
4. No requiere prácticamente recursos a exclusión del tiempo de dedicación, etc.

Como inconvenientes se podrían citar también:

1. Es una técnica cualitativa. No hay una valoración real de la frecuencia de las causas que producen una consecuencia grave ni tampoco del alcance de la misma.
2. Las modificaciones a la planta surgidas del HAZOP deben analizarse con mayor detalle y otros criterios (económicos, etc.).
3. Los resultados obtenidos son muy dependientes de la calidad del equipo.
4. Es muy dependiente de la información disponible. Puede omitirse un riesgo si los datos de partida son erróneos o incompletos.

3.6 Análisis del modo y efecto de los fallos (FMEA)

Corresponde al acrónimo anglosajón del Failure Mode and Effects Analysis. Una descripción de una aplicación completa del método se incluye en el artículo de King y Rudd publicado en el AIChE J. (*American Institute of Chemical Engineers Journal*) en 1971.

Este método consiste en la tabulación de los equipos y sistemas de una planta química, estableciendo las diferentes posibilidades de fallo y las diversas influencias (efectos) de cada uno de ellos en el conjunto del sistema o de la planta.

Los fallos que se consideran son, típicamente, las situaciones de anomalía tales como:

- abierto cuando normalmente deba estar cerrado.
- cerrado cuando normalmente deba estar abierto.
- marcha cuando normalmente deba estar parado.
- paro cuando normalmente deba estar en marcha.
- fugas cuando normalmente deba ser estanco.
- otros.

Los efectos son el resultado de la consideración de cada uno de los fallos identificados individualmente sobre el conjunto de los sistemas o de la planta.

El método FMEA establece finalmente, qué fallos individuales pueden afectar directamente o contribuir de una forma destacada al desarrollo de accidentes de una cierta importancia en la planta.

Este método no considera los errores humanos directamente, sino su consecuencia inmediata de mala operación o situación de un componente o sistema.

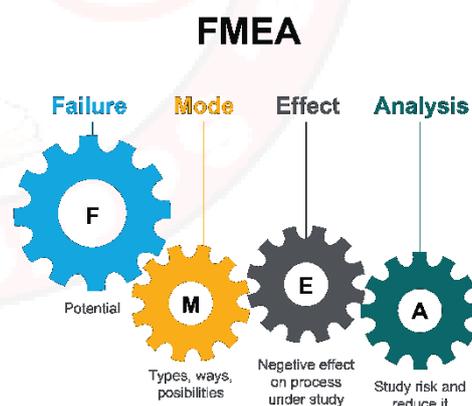
Tampoco establece las diferentes combinaciones de fallos de equipos o secuencias de los mismos que pueden llegar a provocar un accidente final de mayores consecuencias.

El FMEA es un método cualitativo que establece una lista de fallos, sistemática, con sus consiguientes efectos y puede ser de fácil aplicación para cambios en el diseño o modificaciones de planta.

3.6.1 Ambito de aplicación

El método FMEA puede ser utilizado en las etapas de diseño, construcción y operación.

En la etapa de diseño es útil para la identificación de protecciones adicionales, que puedan ser fácilmente incorporados para la mejora de equipos y sistemas.



En la etapa de construcción puede ser utilizado para una evaluación de modificaciones que puedan surgir por cambios inducidos en campo.

En período de operación el FMEA es útil para la evaluación de fallos individuales que puedan inducir a accidentes potenciales.

Su uso puede ser, con limitaciones, alternativo a un HAZOP, aunque encuentre su mayor aplicación como fase previa a la elaboración de árboles de fallos, ya que permite un buen conocimiento de los sistemas.

3.6.2 Recursos necesarios

Normalmente, el método FMEA puede llevarse a cabo por un equipo de dos analistas que conozcan perfectamente las funciones de cada equipo o sistema, así como la influencia de estas funciones en el resto de la línea o proceso. Para sistemas complejos, el número de analistas deberá ser incrementado en función de la complejidad y especialidades a ser cubiertas.

Para garantizar la efectividad del método, debe disponerse de:

- Lista de equipos y sistemas.
- Conocimiento de las funciones de los equipos.
- Conocimiento de las funciones de los sistemas y la planta.

La dedicación ya se ha comentado que es proporcional a la complejidad, y es muy poco significativo intentar establecer un índice promedio de dedicación.

3.6.3 Ventajas e inconvenientes.

Se ha citado anteriormente la rapidez del método frente a otros más complejos como pueden ser el HAZOR

Los resultados que proporciona el método son función de esta misma simplicidad siendo en todo caso meramente cualitativos.

En todo caso, supone un análisis metódico y ordenado de todos los fallos que pueden presentarse en un equipo, sistema, proceso o planta y que puede suponer una aproximación relativamente poco costosa a las situaciones accidentales que estos fallos puedan provocar.

3.6.4 Ejemplos

Para desarrollar un FMEA, deben contemplarse las siguientes etapas:

a) Nivel de detalle

El análisis puede desarrollarse a nivel de sistemas o de componentes, y ello debe definirse claramente al inicio de la labor.

Un ejemplo puede aclararlo mejor: si se estudia una planta, se puede definir como sistemas en fallo el sistema de alimentación, el sistema de mezcla, el de oxidación, el de separación de producto y los sistemas auxiliares. Para cada uno de estos grandes

conjuntos, por ejemplo el de oxidación, se podría estudiar los fallos en las bombas de alimentación, la bomba de refrigeración, la válvula de control del circuito de agua de refrigeración, el sensor de temperatura del reactor, el controlador de temperatura, la alarma de temperatura máxima, el transmisor, etc.

b) Formato de trabajo

El tipo de tabla que debe ser desarrollado para soporte de la labor, debe tener en cuenta, inicialmente, el nivel de detalle definido en el apartado anterior.

Un ejemplo podría ser:

Fecha.....Página.....de.....				
Planta.....Analista.....				
Sistema.....Referencia				
Item	Identificación	Designación	Modo de Fallo	Efectos

Pueden introducirse otras columnas (criticidad, por ejemplo, en el caso del FMEA), (probabilidades de fallo cuando se conozcan), en preparación de otros tipos de análisis (cuantitativos, por ejemplo).

c) Definición del problema y condiciones de contorno

Se trata de determinar previamente qué partes deberá tener en cuenta el FMEA. Los elementos mínimos para la definición del problema son:

- Identificación de la planta y/o sistemas a analizar.
- Establecer los límites físicos del sistema de análisis. Ello implica definir los límites con otros sistemas. Un buen método es dibujar estos límites en un diagrama de flujo.
- Recoger la información necesaria para identificar tanto los equipos como su relación con el sistema o planta.

d) Rellenar la tabla FMEA

La tabla desarrollada en b) debe ser completada de forma sistemática, reduciendo la posibilidad de omisiones.

Un diagrama de flujo puede ser un buen auxiliar para este fin. A medida que se colocan los equipos en la lista se van tachando en el diagrama original de forma bien visible.

En el desarrollo de la labor no debe dejarse ningún item por completar antes de pasar al siguiente.

Deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Identificación de equipos de forma biunívoca, utilizando, si es necesario, códigos o denominaciones particulares.
- Descripción de los equipos de forma que se incluya en la misma la función y posibles características básicas, como por ejemplo: «válvula motorizada, normalmente cerrada, en la línea de DN50 de sosa cáustica».
- Deben establecerse todos los modos de fallos para cada equipo en relación a sus condiciones normales de operación. Así, por ejemplo, los fallos de una válvula de control normalmente abierta pueden ser:
 - Fallo abre
 - Cambio a posición cerrada
 - Pérdidas al exterior
 - Ruptura del cuerpo

En cualquier caso, deben limitarse las consideraciones a aquellas situaciones que puedan provocar consecuencias importantes.

Para cada fallo identificado, deben determinarse los efectos en otros equipos o en el sistema.

Por ejemplo, una pérdida de líquido por el sello de una bomba tiene como efecto inmediato un derrame en la zona de la bomba. Si el fluido es inflamable, puede preverse un incendio que pueda afectar los equipos vecinos.

El analista puede introducir comentarios adicionales sobre los equipos afectados.

e) Resultados

El resultado de un FMEA será una tabla de los efectos de los fallos de cada componente sobre el proceso o sistema.

Los fallos identificados que provoquen consecuencias inaceptables deberán ser corregidos hasta niveles de aceptabilidad.

Los resultados de un FMEA pueden ser utilizados como primer paso de análisis más detallados de partes especialmente críticas (HAZOP o Árboles de Fallos).

3.7 Análisis del modo, efecto y criticidad de los fallos (FMEAC)

La diferencia fundamental en relación con el FMEA es que el FMEAC, además de establecer una relación entre los diferentes modos de fallo de un equipo o sistema y las consecuencias de cada uno de ellos, añade a esta consideración el establecimiento de la criticidad de cada uno de estos fallos. Es decir, establece un orden relativo de importancia de los fallos en función de las consecuencias de cada uno de ellos.

Como consideraciones generales de la metodología, se relacionarán todas las características indicadas en el apartado 2.1.6 de esta Guía con los siguientes aspectos adicionales.

En la Tabla del Formato de Trabajo (apartado 2.1.6.6 de esta Guía punto b) se añadirá una columna con el concepto de criticidad.

En cuanto a la definición del problema y las condiciones de contorno, (apartado 2.1.6.6 de esta Guía punto c), se añadirá la necesaria definición de unas condiciones o conceptos básicos de criticidad que permitan apreciar las diferencias de importancia entre las posibles consecuencias derivadas de los fallos analizados.

A título de ejemplo se puede citar, para un caso hipotético:

Efecto	Criticidad
Ninguno	1
Peligro menor para las personas y las instalaciones. No se requiere parada de proceso	2
Peligros para las personas y las instalaciones. Se requiere parada programada del proceso	3
Peligro inmediato para las personas y las instalaciones. Se requiere parada de emergencia.	4

Cada uno de los fallos y sus efectos son comparados bajo los conceptos básicos definidos en el apartado criticidad, y se ordenan en función de esta criticidad.

En el informe final, se destacan los fallos que pueden provocar efectos de criticidad absolutamente inaceptables. Las actuaciones prioritarias irán dirigidas a aportar soluciones frente a estos fallos.

Con estas consideraciones adicionales, el resto del método FMEAC es absolutamente igual al FMEA.