

CARACTERIZACIÓN Y USOS DE LAS TÉCNICAS CUANTITATIVAS DE VALORACIÓN DE RIESGOS EN LOS PROCESOS QUÍMICOS INDUSTRIALES

CHARACTERIZATION AND USES OF THE QUANTITATIVE TECHNIQUES FOR RISK ASSESSMENT IN INDUSTRIAL CHEMICAL PROCESSES

Eusebio V. Ibarra-Hernández^{1}, Félix A. Goya-Valdivia¹, Belkis F. Guerra- Valdés¹,
Marlene Dupin-Fonseca¹ y Lilitiana Pérez-León²*

¹ Centro de Estudio de Química Aplicada (CEQA). Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Carretera a Camajuaní, Km 5 ½. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

² Refinería "Sergio Soto Valdés". Céspedes # 1. Final, Cabaiguán, Sancti Spiritus, Cuba.

Recibido: Junio 2, 2015; Revisado: Julio 24, 2015; Aceptado: Agosto 25, 2015

RESUMEN

En este trabajo se estudian, clasifican y categorizan las principales técnicas cuantitativas de valoración de riesgos tecnológicos en los procesos químicos industriales. Se especifica que estas técnicas son las más útiles para evaluar de forma comparativa las alternativas de diseño, operaciones y mantenimiento. Se detalla las posibilidades de las técnicas cuantitativas para asignar valores de ocurrencia a los diferentes riesgos identificados, es decir, calcular el nivel de riesgo tecnológico de las diferentes etapas del proyecto. Además, se enumeran las técnicas que presentan una mayor frecuencia de uso, así como los riesgos que evalúan y los resultados que brindan. Se vincula la utilización de cada método, en función del grado de complejidad de la técnica de análisis, con las diferentes etapas de la vida de los proyectos/procesos industriales.

Palabras clave: Análisis cuantitativo de riesgo, etapas de vida de un proceso, identificación de peligros, riesgo, valoración de peligros industriales.

Copyright © 2015. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Eusebio V. Ibarra-Hernández, Email: eusebioih@uclv.edu.cu

ABSTRACT

In this work, the main quantitative techniques for technological risk assessment in industrial chemical processes are studied, classified and categorized. It is specified that these techniques are the most useful to evaluate, in a comparative way, the design alternatives, operations and maintenance. It is specified that these techniques are able to assign occurrence values to the identified different risks, that is to say, to calculate the level of risk of the different stages of the project. In addition, it enumerates all those techniques that present a bigger use frequency as well as the dangers they identify and the results they give. In function of the grade of complexity of the analysis technique, their use is linked with the different stages of the life of the industrial projects/processes.

Key words: Assessment of industrial hazard, hazard identification, quantitative risk analysis, risk, stages of the life of industrial chemical processes.

1. INTRODUCCIÓN

Los accidentes son tan antiguos como la actividad humana y algunos de los más antiguos vestigios arqueológicos indican que asegurar la seguridad de la actividad ha sido objeto de regulación desde la antigüedad (Castillo y Sánchez, 2015). En la actualidad siguen ocurriendo accidentes que generan, en correspondencia con el impetuoso desarrollo industrial que se ha alcanzado, cuantiosas pérdidas tanto a la economía como al medio ambiente, además de cobrar cientos de vidas humanas. Como reclamo de la sociedad a la operación de forma segura de las instalaciones industriales se hace necesario implantar un sistema de gestión del riesgo (SGR) que permita administrar los riesgos asociados a sus procesos, (Colectivo de autores, 2007), (Ibarra y col., 2014).

Para aplicar un SGR se deben realizar las dos actividades siguientes:

1. Análisis de los peligros (PHA)
2. Análisis del riesgo

El análisis de los peligros tiene como función fundamental identificar, evaluar y mitigar los peligros potenciales que puedan dañar la seguridad y salud de las personas, causar pérdidas económicas y dañar el Medio Ambiente en las diferentes etapas de vida de un proceso y ha sido abordado por (Ibarra y col., 2014) y (Ibarra y col., 2015). Mientras que el análisis del riesgo, completa el SGR ya que una vez identificados y analizados los peligros se deben de desarrollar otros estudios del tipo cuantitativo que permitan conocer la magnitud de los riesgos contraídos, considerándose que el riesgo = (consecuencia del accidente) x (frecuencia con la que ocurre el accidente). Según (Cabeza y Cabrita, 2006) los estudios cuantitativos de riesgo tienen como objetivo específico la revisión cuantitativa de los riesgos que pueden presentarse en la industria de procesos, mientras que (Medina et al., 2014) los definen como métodos detallados porque requieren de la identificación de fallas, la evaluación de los datos de fallos y un análisis de consecuencias. Una definición más completa la brindan (Colmenares y Velásquez, 2012) al definir estos estudios como un método de ingeniería y

formulaciones matemáticas, combinadas con información estadística de fallas, para producir resultados numéricos de consecuencias de accidentes y sus frecuencias o probabilidades de ocurrencia, usados para estimar riesgos. De las definiciones anteriores se puede concluir que los estudios *cuantitativos* de riesgo ofrecen métodos para contestar las siguientes preguntas: ¿Qué puede ir mal?, ¿Cuáles son las causas? ¿Cuáles son las consecuencias? y ¿Cuál es la probabilidad de que ocurra?

Según (Marhavidas et al., 2011), están presentes en las principales etapas del ciclo de vida de los proyectos/procesos industriales presentando una frecuencia relativa de uso del 65.63% con respecto a las demás técnicas (cualitativas 27,68% y las híbridas con un 6,7%).

Se proponen para este trabajo los siguientes objetivos, en primer lugar, los de analizar y caracterizar los principales métodos de estudio cuantitativo utilizadas para la identificación de los peligros y valoración de los riesgos en los proyectos/procesos de la Industria Química y en segundo orden vincularlos con las diferentes etapas del ciclo de vida de estos proyectos/procesos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las plantas químicas no deben ser solamente rentables desde el punto de vista económico, deben evitar o minimizar también el riesgo ante los factores de riesgo tecnológicos, colocando esto a la seguridad como uno de los principales componentes en la operación de estas plantas (Medina et al., 2014). Para evitar o minimizar el riesgo primero hay que identificarlo y evaluarlo, la evaluación del riesgo consiste en determinar las consecuencias y sus probabilidades de hechos de riesgo identificados, teniendo en cuenta la presencia (o no) y la eficacia de cualquier control existente combinándose consecuencias y probabilidades para determinar un determinado nivel de riesgo. Los métodos utilizados en el análisis de riesgos pueden ser cualitativos, semi-cuantitativo o cuantitativo, (Norma Internacional, IEC/FDIS 3101, 2009).

El análisis cuantitativo de riesgo estima valores prácticos de consecuencias y frecuencia, y produce valores del nivel de riesgo en unidades específicas definidas en el desarrollo del contexto.

El análisis de *consecuencias* determina la naturaleza y el tipo de impacto que podría ocurrir suponiendo que haya ocurrido una situación, suceso o circunstancia particular. Un evento puede tener un rango de impactos de diferentes magnitudes, y afectan a una serie de diferentes objetivos y grupos de interés. Los tipos de consecuencias a analizar y las partes interesadas afectadas se decidieron cuando se estableció el contexto. Mientras que para estimar la *probabilidad* comúnmente se emplean los siguientes tres enfoques que pueden ser utilizados de forma individual o en conjunto;

- a) La utilización de los datos históricos
- b) Los pronósticos de probabilidad utilizando diferentes técnicas de predicción
- c) La opinión de expertos

A continuación se muestra, Tabla 1, una recopilación de las técnicas cuantitativas que aparecen en la literatura consultada, (Colectivo de autores, 2007), (Colmenares y Velásquez, 2012), (Casal y col., 2001) y IEC/FDIS 3101 (2009).

Tabla 1. Técnicas cuantitativas para evaluar el riesgo

<i>N_{o.}</i>	<i>Técnica</i>	<i>Evalúa riesgo en:</i>
1	Análisis preliminar de consecuencias (PCA)	Procesos
2	Ranking Relativo	Procesos
3	Diagrama de bloques de confiabilidad	Equipo
4	Análisis de confiabilidad estructural	Equipo
5	Valoración de vulnerabilidad	Equipo
6	Método DEFI	Equipo
7	Análisis de tarea	Factor humano
8	Análisis de error de acción (AEA)	Factor humano
9	Análisis de causa raíz	Equipo
10	Análisis de Causas y consecuencias	Equipo
11	Análisis de escenarios	Procesos
12	Estudios de riesgos y operatividad (HAZOP)	Procesos
13	Evaluación de riesgos ambientales	No definido
14	Análisis de árbol de fallas	Equipo
15	Análisis de árbol de eventos	Equipo
16	Árbol de decisiones	Equipo
17	Evaluación de la fiabilidad humana	Factor humano
18	Análisis de <i>bow tie</i>	No definido
19	Confiabilidad del Mantenimiento	Equipo
20	Estadísticas Bayesianas y redes de <i>Bayes</i>	No definido
21	Matriz de Consecuencia/probabilidad	Procesos
22	Análisis de decisión multicriterio (MCDA)	No definido
23	Índices de riesgo	No definido
24	Curvas FN	No definido
25	Valoración cuantitativa de escenarios dominó (QADS)	No definido
26	Valoración cuantitativa del riesgo (QRA)	Procesos
27	Análisis de costo - Beneficio	Procesos
28	Técnica de Valoración proporcional del riesgo (PRAT)	No definido
29	Técnica de la valoración del riesgo por la Matriz de decisión (DMRA)	No definido
30	El análisis de riesgo ponderado (WRA)	No definido
31	Medida de riesgo del riesgo social (SRE)	No definido
32	Enfoque predictivo y epistémico (Método PEA)	No definido
33	Análisis SIL	No definido

La Tabla 1 muestra que las principales técnicas cuantitativas de valoración del riesgo pueden ser aplicadas en los procesos, equipos y al factor humano mientras que algunas de ellas (no definido en la tabla) pueden aplicarse indistintamente a cualesquiera de estos aspectos. No existe un criterio unánime en la literatura consultada para la clasificación de estas técnicas por ejemplo; (Marhaviyas et al., 2011) define el Análisis de tareas como una técnica cualitativa mientras que para (Colectivo de autores, 2007),

es una técnica híbrida y por último para IEC/FDIS 3101 (2009) esta técnica es cuantitativa. Otra técnica ampliamente utilizada y que presenta esta indefinición son los “Estudios de riesgos y operatividad (HAZOP)” la cual para (Marhavilas et al., 2011), (Colectivo de autores, 2007) y Díaz (2010) es una técnica cualitativa mientras que IEC/FDIS 3101 (2009) la considera cuantitativa. Para este colectivo de autores, ambas técnicas pueden ser consideradas cuantitativas, teniendo en cuenta sus características básicas y las modificaciones de cálculo implementadas a estas técnicas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Técnicas cuantitativas de uso más frecuente

La Tabla 1 brinda, según lo expuesto por la literatura especializada, una relación de 33 técnicas cuantitativas para identificar y evaluar el riesgo. En la Tabla 2 se relacionan las que presentan una mayor frecuencia de uso.

Para la selección de las técnicas que presentan una mayor frecuencia de uso se realizó un amplio estudio de la bibliografía especializada, aunque este aspecto tampoco escapa a la disparidad de criterios entre los autores consultados, por ejemplo; para (Marhavilas et al, 2011) las técnicas de mayor frecuencia de uso son: 27, 28 y de la 30 a la 33; (Colectivo de autores, 2007), presenta como las técnicas de mayor uso; 2, 11, 16, 17 y 19 y por último para IEC/FDIS 3101 (2009) no hace referencia clara a las que considera de mayor uso. Para los autores de este trabajo la frecuencia de uso de estas técnicas está condicionada a varios factores como la etapa de la vida de los proyectos/procesos industriales en estudio, la complejidad del proceso, equipo o componentes o factor humano a estudiar y en función, además, del equipo de trabajo que realiza el estudio. En la Tabla 2, se presenta una propuesta de orden de selección de técnicas, según su uso.

Tabla 2. Técnicas cuantitativas de uso más frecuente

<i>N_o</i>	<i>Técnica</i>	<i>Análisis de riesgo en:</i>
1	Análisis del árbol de fallas	Equipo
2	Análisis del árbol de eventos	Equipo
3	Índices de riesgo	Procesos
4	Análisis de peligros y operatividad (HAZOP)	Procesos
5	Análisis de causas y consecuencias	Equipo
6	Evaluación de la fiabilidad humana	Factor humano
7	Análisis de escenarios	Procesos
8	Valoración cuantitativa del riesgo (QRA)	Procesos
9	Análisis de tareas	Factor humano
10	Ranking relativo	Procesos
11	Matriz de Consecuencia/probabilidad	Procesos
12	Análisis del árbol de decisiones	Procesos

3.2. Caracterización de algunas de las técnicas cuantitativas de mayor uso

Se presenta a continuación un resumen de las principales características de las técnicas más referenciadas en la literatura consultada, (Ibarra y col., 2015), (Ibarra y col., 2014),

Velasco (2012), (Colmenares y Velásquez, 2012), (Marhavidas et al., 2011), Díaz (2010), IEC/FDIS 3101 (2009) y (Colectivo de autores, 2007), Carol (2001) y (Marhavidas et al., 2009) y (Castillo y Sánchez, 2015).

3.2.1. Análisis del árbol de fallas (Fault Tree Analysis - FTA)

Es una técnica deductiva para identificar y analizar los factores que pueden contribuir a un suceso no deseado específico (llamado "evento principal"). Los factores causales son deductivamente identificados, organizados de una manera lógica en función del suceso principal, y representados gráficamente en un diagrama de árbol. La relación lógica entre los sucesos es representada por los operadores lógicos Y, O, INH (el operador condicional) utilizados en álgebra *booleana*

Los resultados de los análisis de árbol de fallos son los siguientes:

- Combinación de fallos primarios que pueden producir el accidente estudiado.
- Una representación gráfica de cómo puede ocurrir el suceso principal, que muestra las vías que interactúan donde se producen dos o más sucesos.
- Una lista de conjuntos de corte mínimos (vías individuales de fallo) con (donde se dispone de datos) la probabilidad de que ocurra cada uno
- Análisis de un fallo que se ha producido para mostrar esquemáticamente cómo sucesos diferentes se unieron para causar el fallo.
- El resultado cuantitativo permite calcular básicamente la frecuencia de acontecimiento de un accidente y la indisponibilidad del sistema

Ventajas:

- Método de análisis sistemático y robusto de representación gráfica, que facilita la comprensión de la causalidad
- El enfoque "top-down" y la representación gráfica permite el entendimiento del comportamiento del sistema bajo análisis.

Desventajas:

- Requiere de una elevada formación técnica, junto con un conocimiento detallado del sistema o proceso y de sus modos de fallo.
- La mayoría de árboles son tan complejos que se requieren softwares para calcular la probabilidad de los "top event". Si no hay una buena base de datos de probabilidades de los eventos básicos, la incertidumbre crece en este cálculo.
- No es dinámico, sólo incluye estados binarios (falla o no).

Etapas del ciclo de vida de los proyectos/procesos industriales en que se aplica:

- Diseño: para identificar las posibles causas de fallo y, por lo tanto, para elegir entre diferentes opciones de diseño.
- Funcionamiento: para identificar cómo pueden ocurrir fallos importantes y la importancia relativa de las diferentes vías para el suceso principal.

3.2.2. Análisis del árbol de eventos (Event Tree Analysis - ETA)

Esta técnica inductiva gráfica se aplica para describir la evolución de un suceso iniciador. El proceso comienza con la definición del evento a analizar, luego se listan los controles que impiden las fallas y se desarrolla el árbol según el éxito o falla de cada

uno. Por último, permite determinar la frecuencia de un accidente en función de la frecuencia del suceso iniciador y las probabilidades de los factores que intervienen en la evolución secuencial del suceso.

Los resultados de los análisis de árbol de fallos son los siguientes:

- Estimaciones cuantitativas de frecuencias o probabilidades del evento y la importancia relativa de varias secuencias de fallos y eventos que contribuyen
- Listas de recomendaciones para reducir los riesgos
- Las evaluaciones cuantitativas de la eficacia de la recomendación.
- Modelado, cálculo y la clasificación (desde un punto de vista de riesgo) de diferentes escenarios de accidentes tras el evento iniciador.
- Modelado fallos donde hay múltiples salvaguardas.
- Modelar eventos iniciadores que pudieran causar pérdidas o ganancias.

Ventajas:

- Muestra los posibles escenarios después de un evento iniciador y la influencia del éxito o el fallo de los sistemas o funciones de mitigación de una manera clara y esquemática. Identifica un esquema de escenarios de falla y permite analizar la influencia del éxito o fracaso de las barreras establecidas para evitar dichas fallas.
- Permite graficar una secuencia de falla distinta a la que se representa en los árboles de falla.
- Es responsable del tiempo, la dependencia y los efectos dominó que son difíciles de modelar en árboles de fallos

Desventajas:

- Para ser usado como parte de una evaluación sistemática debe complementarse con otro método que asegure la identificación de los eventos iniciales relevantes.
- En este método sólo se analizan eventos de falla o éxito, no otras combinaciones.
- Para sistemas complejos de proceso que incluyen muchos equipos, instrumentos, sistemas de control y alarma, se requiere de:
 - Un equipo interdisciplinar completo y con experiencia (Especialistas en el proceso, instrumentistas, Técnicos de Seguridad etc.)
 - Mucho tiempo para analizar la gran cantidad de árboles
 - Aplicaciones informáticas complejas

Este método se aplica en cualquier etapa del ciclo de vida de los proyectos/procesos industriales.

3.2.3. Índices de riesgo

Conjunto de métodos específicamente diseñados para evaluar el riesgo asociado a instalaciones químicas, tanto de proceso como de almacenamiento (Casal y col., 2001). Su objeto es el de determinar cuáles son los factores más influyentes en la gravedad de los accidentes industriales con sustancias peligrosas y tener una imagen general de todas aquellas variables que afectan a sus probabilidades de ocurrencia (frecuencia), efectos y consecuencias. Un índice de riesgo tecnológico, por tanto, intenta evaluar el riesgo inherente de una instalación o proceso industrial, por comparación con otros considerados estándares, mediante el uso de unas listas de comprobación cuantificada y

más o menos detallada según el índice utilizado. En algunos casos puede ser compuesto, obtenido a partir de otros de tipo parcial que valoran de forma independiente riesgos específicos de la instalación analizada. Los índices de riesgo clasifican, cuantifican y comparan los riesgos.

Pueden estructurarse en tres grandes categorías, Carol (2001), en función de su nivel de descripción de la realidad, se relacionan a continuación los principales índices por categorías:

- Índices basados en la definición matemática de riesgo: Método Fine, el Sistema de Evaluación y Propuesta de Tratamiento de Riesgos (SEPTRI) y el *Hazard Rating Number* (HRN)
- Índices basados en la carga de fuego: Método Simplificado de Evaluación del Riesgo de Incendio (MESERI), Método Gretener, índice Eric, índice de Purt (de EURALARM), el cálculo de la carga de fuego ponderada, el índice de los coeficientes K y el índice de coeficientes a.
- Índices basados en la peligrosidad: Índice *Instantaneous Fractional Annual Loss* (IFAL), índice de incendio y explosión de la empresa DOW, índice MOND (desarrollado por ICI), el índice UCSIP (*Union des Chambres Syndicales de l'industrie du Petrole*), los índices de Riesgo de Procesos Químicos del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo y el *Chemical Exposure Index* (CEI), desarrollado por DOW, específicamente para riesgo de intoxicación y de contaminación en instalaciones del sector químico.

Los resultados que brindan los índices de riesgo son los siguientes:

- Análisis del sistema y una descripción general del contexto
- Una serie de números (índices compuestos) que se refieren a una fuente particular y que pueden compararse con los índices desarrollados para otras fuentes dentro del mismo sistema, o que pueden modelarse de la misma forma.
- Una justificación del beneficio de la inclusión de determinados sistemas de protección (contra incendio, drenaje, bloqueo, control, etc.)
- Valorar áreas de exposición por daño severo en las instalaciones.

Ventajas:

- Los Índices pueden proporcionar una buena herramienta para la clasificación de los diferentes riesgos
- Permiten que se integren múltiples factores que afectan al nivel de riesgo en una sola puntuación numérica para el nivel de riesgo
- Requieren de escasos recursos humanos, materiales y temporales para su aplicación

Desventajas:

- Si el proceso (modelo) y su resultado no están bien validados, los resultados pueden resultar sin sentido. El hecho de que el resultado es un valor numérico de riesgo puede ser mal interpretado y mal utilizado, por *ejemplo*, en posteriores análisis costo / beneficio
- En muchas situaciones donde se utilizan los índices, no existe un modelo fundamental para definir si las escalas individuales de los factores de riesgo son

lineales, logarítmicas o de alguna otra forma, y no hay un modelo para definir cómo deben combinarse los factores. En estas situaciones, la calificación es inherentemente poco confiable y la validación con datos reales es particularmente importante

- Los métodos desarrollados para la industria química se centran en la descripción de grandes procesos industriales y de alta reactividad, normalmente relacionados con la industria del petróleo y sus derivados básicos, resultando relativamente inadecuada (o desproporcionada) su aplicación a instalaciones más simples y menos peligrosas.

3.3. Principales resultados que brindan estas técnicas

- Consideran todos los escenarios de accidentes incluyendo aquellos con muy baja probabilidad de ocurrencia o sobre los cuales no se tiene experiencia.
- Identifican las posibles secuencias de accidentes, cuantificando su frecuencia y severidad, con el objeto de clasificarlas de acuerdo con su importancia relativa.
- Ofrecen oportunidades para analizar en base a criterios Costo–Beneficio, las propuestas de inversión en reducción de riesgos, facilitando la toma de decisiones más objetivas
- Consideran el entorno de la instalación, favoreciendo la armonía en las interacciones
- Permiten disponer de información cuantitativa sobre el riesgo que representa la implantación de una instalación industrial, para con ellos poder justificar la aceptabilidad o no de la misma de acuerdo con unos valores de riesgos establecidos con carácter oficial en una zona o en un país.
- Clasifican los escenarios de peligro basado en la severidad de sus consecuencias y en la probabilidad de que sucedan.
- Brindan alternativas o recomendaciones para mejorar la seguridad:
 - a) Recomendaciones para realizar cambios en el diseño, procedimientos para corregir un problema identificado.
 - b) Recomendaciones para realizar el seguimiento de un determinado problema cuando no es posible obtener una conclusión debido a la falta de información.
 - c) Recomendaciones para realizar estudios adicionales para determinar si la situación actual representa un problema.
- Describen un determinado escenario de accidente; calculan de la probabilidad de que suceda y la representación gráfica de sus consecuencias y/o causas
- Brindan alternativas para eliminar o controlar los peligros y escenarios de accidente identificados.

3.4 Limitaciones en el uso de estas técnicas

Las técnicas cuantitativas en los procesos químicos industriales presentan limitaciones comunes con el resto de las técnicas, cuantitativas e híbridas, relacionadas por (Ibarra y col., 2014) siendo las fundamentales las que a continuación se relacionan:

- *Plenitud*: Nunca puede haber una garantía de que todas las situaciones de accidente, causas y efectos han sido considerados.

- *Reproducibilidad*: Diferentes expertos, utilizando la misma información, pueden generar resultados diferentes cuando analizan el mismo problema.
- *Subjetividad*: La experiencia individual de quien realiza el estudio es utilizada para determinar el grado de importancia de un peligro.

Además presentan una serie de limitaciones que son inherentes a este tipo de técnica, las que se detallan a continuación:

- Requieren de directivos de seguridad eficientes para el registro de los eventos no deseados
- Es una técnica que requiere de mucho tiempo ya que se requiere del registro de todos los datos de los eventos no deseados de una compañía
- Resultan de difícil aplicación porque primero deben ser definidos los escenarios y sus frecuencias
- La aplicación de muchas de estas técnicas resulta cara

4. CONCLUSIONES

Los principales resultados y conclusiones del trabajo están resumidos en los siguientes aspectos:

1. Estas técnicas presentan una frecuencia relativa de uso muy superior a las demás; 65,63% con respecto a (cualitativas 27,68% y las híbridas con un 6,7%).
2. Se relacionaron, Tabla 2, las técnicas cuantitativas de uso más frecuente.
3. Dentro de las técnicas de uso más frecuente, se caracterizaron las más referenciadas por la literatura.
4. De manera general, estas técnicas describen un determinado escenario de accidente, calculan la probabilidad de que suceda y la representación gráfica de sus consecuencias y/o causas
5. El uso de estas técnicas estará condicionado: a la etapa de la vida de los proyectos/procesos industriales, a la complejidad del proceso, equipo o componentes o factor humano a estudiar y en función además del equipo de trabajo que realizará el estudio.

REFERENCIAS

- Cabeza, M. A., y Cabrita E. N., El análisis de riesgo cuantitativo como una poderosa herramienta para la planificación estratégica de procesos petroquímicos., Actualidad Contable FACES Año 9, No. 12, Mérida, Venezuela, Enero - Junio 2006, pp. 27-35.
- Carol, S., Una metodología para la predicción de la gravedad de los accidentes industriales aplicando el análisis histórico., Memoria presentada en opción al grado de Doctor Ingeniero Industrial., Barcelona. Junio 2001.
- Casal, J., Montiel, H., Planas, E., y Vilchez, J. A., Análisis del riesgo en Instalaciones Industriales., Ediciones UPC, S.L. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2001, pp. 15 – 91.
- Castillo, F.J., y Sánchez, M., Curso de análisis de riesgos industriales en plantas químicas y petroleras., Método HAZ-OP (XV Edición), Aula Magna, E. T. S.

- Ingenieros Industriales de ciudad Real, Escuela técnica superior de ingenieros industriales, 2015.
- Colectivo de autores., Memoria, Guía para la selección y aplicación de técnicas PHA, 2007.
- Colmenares, E., y Velásquez, L. J., Análisis cuantitativo de riesgos en los procesos de la estación de descarga de bare-10 en el distrito San Tomé, petróleos de Venezuela, s.a (Pdvsa) estado Anzoátegui., Jornadas de Investigación 2012, Centro de Estudios Gerenciales, Unexpo, Vicerrectorado Puerto Ordaz, 2012, pp. 215-224.
- Díaz, A., Análisis de riesgos en instalaciones industriales., INERCO Ingeniería, Tecnología y Consultoría, Sevilla, España, 2010, pp.1-81.
- Ibarra, E. V., Goya, F. A., Guerra, B. F., y Dupin, M., Técnicas utilizadas para la identificación y valoración de los peligros en las distintas etapas de la vida de los procesos químicos industriales., Centro Azúcar, Vol. 41, No.4, pp. 30-40, 2014.
- Ibarra, E. V., Goya, F. A., Guerra, B. F., y Dupin, M., Caracterización y usos de las “técnicas cualitativas” de identificación y valoración de peligros en los procesos químicos industriales., Centro Azúcar, Vol. 42, No.1, pp. 22-33, 2015.
- Marhavidas, P. K., Koulouriotis, D. E., y Voulgaridou, K., Development of a quantitative risk assessment technique and application on an industry’s worksite using real accidents’ data., Scientific Journal of Hellenic Association of Mechanical & Electrical Engineers, Vol. 416, pp. 14-20, 2009.
- Marhavidas, P. K., Koulouriotis, D. E., y Gemeni, V., Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000-2009., Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol.24, 2011, pp. 477-523.
- Medina, N., Jiménez, A., y Grossmann, I. E., A mathematical programming model for optimal layout considering quantitative risk analysis., Computers and Chemical Engineering, Vol. 68, September 2014, pp. 165-181.
- Norma Internacional. Gestión de riesgos — Técnicas de evaluación de riesgos., (IEC/FDIS 3101, 2009). No. Referencia IEC / FDIS 31010: 2009 (E), 2009.
- Velasco, A., Claves para la gestión de riesgos., USMP, Universidad de San Martín de Porres, 2012, pp. 1-49.