

**TÉCNICAS UTILIZADAS PARA LA IDENTIFICACIÓN Y
VALORACIÓN DE LOS PELIGROS EN LAS DISTINTAS ETAPAS DE
LA VIDA DE LOS PROCESOS QUÍMICOS INDUSTRIALES**

**TECHNICAL USED FOR HAZARD IDENTIFICATION AND ASSESSMENT IN
THE DIFFERENT STAGES OF THE LIFE OF INDUSTRIAL CHEMICAL
PROCESS**

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

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

Recibido: Junio 30, 2014; Revisado: Julio 29, 2014; Aceptado: Agosto 29, 2014

RESUMEN

Este artículo presenta una revisión del estado del arte de los estudios y técnicas que permiten la identificación, evaluación y control de los peligros que pueden aparecer en las distintas etapas de la vida de los proyectos/procesos industriales: diseño, construcción, puesta en marcha y funcionamiento normal, modificaciones del proceso y desmantelamiento o abandono de las instalaciones. Además, se evidencia que la aplicación de estas técnicas de identificación de peligros en los procesos químicos permite prevenir los accidentes que pueden suceder en las instalaciones industriales y asegurar la productividad de las mismas.

Palabras clave: etapas de vida de un proceso, identificación y valoración de peligros, valoración de peligros industriales, valoración de la seguridad de procesos

Copyright © 2014. 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

This paper presents a state-of-art-review of the available studies and techniques that allow the identification, evaluation and control of the hazards that can appear in the different stages of the life of industrial processes: design, construction, start-up and normal operation, process modifications and dismantling or abandonment of the facilities. It is also evidenced that the application of these identification techniques of hazards in the chemical processes allows to prevent the accidents that can happen in the industrial facilities and to assure the productivity of the same ones.

Key words: stages of the life of industrial processes, identification and assessment of industrial hazards, process safety assessment

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente en todo el mundo existe numerosa legislación que obliga a implantar un sistema de gestión de la seguridad (SGS) a aquellas instalaciones industriales que contienen sustancias peligrosas. Por este motivo, muchas instituciones públicas, como la Environmental Protection Agency (EPA), Occupational Safety and Health Administration (OSHA), American Petroleum Agency (API), International Electrotechnical Commission (IEC) y privadas como Center for Chemical Process Safety (CCPS), American Institute for Chemical Engineers (AIChE), han desarrollado y publicado libros y guías que describen y definen los diferentes SGS, pero todos ellos presentan los siguientes puntos débiles:

- ✓ No definen de manera concreta y detallada una parte tan importante de un SGS como es el proceso de aplicación de los estudios y técnicas que permiten identificar y evaluar los peligros asociados a un proceso (Técnicas PHA: Acrónimo de “Process Hazard Analysis” o Análisis de los Peligros de un Proceso), para de este modo, implementar modificaciones o medidas que reduzcan los efectos de las mismas.
- ✓ No desarrollan un método que facilite el proceso de selección de las técnicas PHA.

En el caso de Cuba, las NC de la serie 18000, sólo definen los principales puntos que debe contener el SGS que obligan implantar. Las instalaciones con peligro mayor se obligan según, Decreto-Ley No.309 (2013) y su reglamento en Resolución 148/2013 (2013), pero en ningún caso se proporcionan especificaciones que ayuden a implementar en la práctica la legislación.

Como complemento de los SGS anteriormente citados, se comercializan gran número de herramientas informáticas y de paquetes de software de seguridad de procesos que facilitan la realización de los estudios PHA, pero estos tienen unos precios muy elevados y pueden ser consultados y adquiridos sólo por empresas acreditadas.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, este trabajo pretende presentar una revisión temática que ayude a solucionar el vacío provocado por la falta de información existente, sobretudo en el caso cubano, en lo referente a la realización de estudios PHA. Situación provocada por el hecho de que la legislación se dedica a definir los SGS y no en dar instrucciones concretas para realizar los estudios PHA.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En la Industria química de procesos (tabla 1) se producen accidentes; un suceso se puede catalogar como accidente si es inesperado, inevitable e indeseado, de entre los que se pueden destacar los escapes tóxicos, explosiones e incendios, teniendo como causas más comunes los fallos de material (una rotura en un depósito de almacenamiento), errores en la operación (operar por encima de los límites de presión o temperatura), perturbaciones externas y fallos humanos CCPS (1992), (Santamaría y Braña, 1994).

Tabla 1. Principales industrias químicas de procesos

Principales industrias químicas de procesos

1. Plantas donde se fabrican o manipulan sustancias químicas, entre las que destacan: Amoníaco; Cloro; Hidrógeno; Benceno; Propano; Butano; Propileno; Etileno; Estireno; Cloruro de vinilo; Ácido Sulfúrico; PVC; Ácido Acético; Otros.
2. Refinerías de petróleo: Gas Licuado de Petróleo (GLP) y derivados (gasolina, fuel oíl, queroseno).
3. Refinerías de gas natural.
4. Almacenamiento de sustancias químicas.
5. Industria farmacéutica.

Para conseguir que una instalación industrial opere de forma segura y continuada, es fundamental disponer de un sistema que gestione el riesgo asociado a sus procesos siendo el primer requisito para ello la implementación de técnicas que permitan la identificación, evaluación y control de los peligros que pueden aparecer en dicha instalación.

Estas técnicas, según CCPS (1992), reciben el nombre de técnicas PHA (Process Hazard Analysis o análisis de los peligros de los procesos) y su aplicación permite prevenir los accidentes que pueden suceder en las instalaciones industriales y asegurar la productividad de las mismas.

La literatura consultada CCPS (1992), GRIS-1.2 (2009), (Crawle y Tyler, 2003), destaca la importancia de realizar los estudios de análisis de los peligros de los procesos a lo largo de todo el ciclo de vida de una instalación industrial y coinciden, (James y Wells, 1994), (Casal y col., 2001), en que las principales etapas del ciclo de vida son las que a continuación se enumeran: Definición del Proceso (I+D), Experimentación planta piloto (Diseño conceptual), Proyecto Básico o definición del diseño, Proyecto de detalle, Construcción y puesta en funcionamiento, Operación normal, Proceso de modificaciones o expansión, Estudio de Incidentes o accidentes, Abandono del Proceso (cierre y/o desmantelamiento).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Estudio de identificación y valoración de los peligros

Un estudio de identificación y valoración de los peligros es un método sistemático y estructurado, que representa un eslabón muy importante dentro de la cadena de seguridad y es una parte fundamental de todo Sistema de gestión de seguridad, (Crawle y Tyler, 2003), para analizar los peligros de las instalaciones industriales a través de la aplicación de técnicas de análisis de los peligros de los procesos. Los mismos se llevarán a cabo cuando:

- Sea obligado por la ley (Requerimiento especial (legislación)).
- Por decisión del establecimiento interesado, ya sea para la realización de un estudio nuevo o para la revisión de uno existente.
- La mayoría de los estudios de análisis de los peligros de los procesos son realizados por equipos de personas que realizan las siguientes actividades:
- Identificación y valoración cualitativa y/o cuantitativa de los peligros asociados a los sistemas/procesos que pueden tener consecuencias no deseadas sobre las personas, la propiedad o el medioambiente.
- Evaluación de la efectividad de las medidas de seguridad existentes.
- Recomendar y, en caso de ser aprobado, implementar las modificaciones necesarias para eliminar o, en su defecto, controlar los peligros identificados.
- Realizar el seguimiento del estado de las modificaciones propuestas.
- La utilidad principal de estos estudios radica en su habilidad para proporcionar la información que necesita la dirección de una compañía de la industria química de procesos para poder tomar decisiones fundamentadas sobre los beneficios de introducir determinadas modificaciones o cambios (sobre todo de diseño y operación). De este modo, se consigue una mejora de seguridad en la operación de la instalación y una garantía de continuidad de la actividad económica.
- Como se ha comentado anteriormente, estas técnicas pueden evaluar el peligro asociado a una instalación industrial, para poder hacerlo de forma eficaz, es necesario conocer y entender los siguientes puntos:
- Secuencia de los accidentes que pueden suceder.
- Las medidas de seguridad existentes que pueden actuar en las diferentes etapas de las secuencias de los accidentes.

3.2. Principales peligros y consecuencias que pueden identificarse

Las técnicas de identificación y valoración de los peligros son eficaces para identificar los peligros asociados a las sustancias procesadas en los procesos de una instalación. Entre los que destacan:

- Fuego (incendios de charco, incendio de dardo, incendio de llamarada, bola de fuego, fuegos en edificios y almacenes).
- Explosión (físicas y químicas, confinadas o no confinadas, BLEVE, por polvo, descomposición térmica, reacciones fuera de control).
- Fuga tóxica (emisión o escape de sustancias nocivas y/o tóxicas para la salud de las personas o para el medio ambiente).

- Posibles peligros asociados a las sustancias industriales que son guardadas o procesadas en cantidades que superan los umbrales definidos para el nivel de riesgo por unidad de masa de la sustancia.
- Peligros asociados a las características de las sustancias presentes en el proceso:
 - Materias primas, productos intermedios, productos finales, subproductos, aditivos, catalizadores, corrientes de desecho.
 - Posibles peligros debidos a materiales, equipos y sus condiciones de operación, como por ejemplo:
- Altas presiones, altas temperaturas, asfixia por N₂, salpicaduras de aceite caliente o contactos con vapor, superficies calientes, materiales criogénicos, alta energía cinética, alto voltaje / corriente / electricidad estática.

3.3. Principales resultados que se pueden esperar de esas técnicas

Debemos partir del hecho de que estas técnicas están enfocadas a la identificación de peligros no para solucionar problemas técnicos CCPS (1992).

Los resultados que brindan son:

- Lista de peligros.
- Descripción de los escenarios de peligro identificados.
- Clasificación de los escenarios de peligro basado en la severidad de sus consecuencias y en la probabilidad de que sucedan.
- Lista de 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.

Veamos a continuación los principales factores a considerar para lograr un mejor uso de estas técnicas:

- Validez de la técnica de análisis elegida.
- Experiencia y motivación del equipo que realiza el estudio.
- Etapa del ciclo de vida en el que se realiza.
- Disponer de documentación e información suficiente sobre el proceso a estudiar, así como de herramientas informáticas y de gestión documental.
- Tipo de proceso y complejidad del mismo.

3.4 Limitaciones en el uso de estas técnicas

Debido a la importancia de las decisiones que se toman, teniendo como base los resultados de la aplicación de estas técnicas, resulta significativo conocer las limitaciones en el empleo de las mismas; siendo estas las siguientes:

- 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.

- **Comprensión:** Los estudios de estas técnicas pueden conducir a resultados difíciles de entender y usar.
- **Relevancia de la experiencia:** Un equipo debe tener una base de experiencia apropiada para evaluar la importancia de los accidentes.
- **Subjetividad:** La experiencia individual de quien realiza el estudio es utilizada para determinar el grado de importancia de un peligro.

3.5 Principales técnicas referenciadas en la literatura

A continuación se detallan, Tabla 2, una recopilación de las técnicas más importantes que aparecen en la literatura consultada CCPS (1992), GRIS-1.2 (2009), IEC/FDIS 3101(2009), (Marhavilas et al, 2011).

Tabla 2. Principales técnicas para identificar y evaluar peligros

<i>Técnica</i>	<i>Identifica peligros de:</i>	<i>Evaluación peligros</i>
HAZard and OPerability analysis (HAZOP), Análisis de peligros y operabilidad	Procesos	Cualitativa
What if, Qué pasaría si?	Procesos	Cualitativa
Concept Hazard Analysis (CHA),	Procesos	Cualitativa
Concept Safety Review (CSR)	Procesos	Cualitativa
Preliminary Hazard Analysis (PrHA), Análisis preliminar del peligro, (HAZID)	Procesos	Cualitativa
Pre-HAZOP	Procesos	Cualitativa
Standard/Codes of practice/ Literature Review	Procesos	Cualitativa
Functional Integrated Hazard Identification (FIHI)	Procesos	Cualitativa
Checklist, Lista de revisión o chequeo	Procesos	Cualitativa
What-if/checklist	Procesos	Cualitativa
Matrices	Procesos	Cualitativa
Inherent Hazard Analysis,	Procesos	Cualitativa
Critical Examination of System Safety (CEX)	Procesos	
Method Organized Systematic Analysis of Risk (MOSAR)	Procesos	Semi-cualitativa
Goal Oriented Failure Analysis (GOFA)	Procesos	Semi-cualitativa
Preliminary Consequence Analysis (PCA)	Procesos	Cuantitativa
Relative Ranking, Clasificación relativa de peligros	Procesos	Cuantitativa
Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), Análisis de modos de fallo y sus efectos	Equipo	Cualitativa
Fault Tree Analysis (FTA), Análisis de árboles de fallo	Equipo	Cualitativa/cuantitativa

Event Tree Analysis (ETA), Análisis de árboles de sucesos	Equipo	Cualitativa/cuantitativa
Cause-Consequence Analysis (CCA), Análisis de causa-consecuencia	Equipo	Cualitativa/cuantitativa
Safety review, Revisión de seguridad	Equipo	Cualitativa
Functional FMEA, Análisis funcional de modos de fallo y sus efectos	Equipo	Cualitativa
Failure Modes, Effects and Critically Analysis (FMECA), Modos de fallo, efectos y análisis crítico	Equipo	Cualitativa
Maintenance and Operability study (MOp), Estudios de mantenimiento y operabilidad	Equipo	Cualitativa
Maintenance Analysis, Análisis de mantenimiento	Equipo	Cualitativa/cuantitativa
Sneack Analysis,	Equipo	Cualitativa
Reliability Block Diagram	Equipo	Cuantitativa
Structural Reliability Analysis	Equipo	Cuantitativa
DEFI method, Método DEFI	Equipo	Cuantitativa
Pattern Search method	Factor humano	Cualitativa
Human Reliability Analysis (HRA), Análisis de fiabilidad humana	Factor humano	Semi-cualitativa
Predictive Human Error Analysis (PHEA), Análisis predictivo del error humano	Factor humano	Semi-cualitativa
Task analysis, Análisis de tareas	Factor humano	Cualitativa/cuantitativa
Action Error Analysis (AEA)	Factor humano	Cualitativa/cuantitativa
Tormenta de Ideas		Cualitativa
Entrevistas Estructuradas o Semiestructuradas		Cualitativa
Delphi		Cualitativa
Análisis de riesgos y puntos críticos de control (HACCP)		Cualitativa
Evaluación de Riesgos ambientales		Cualitativa
Análisis de escenarios		Cualitativa
Análisis de causa raíz		Cualitativa
Análisis de causa y efecto		Cualitativa
Análisis de protección de capa (LOPA)		Cuantitativo
Análisis Bow tie		Cuantitativo

Como se muestra en la tabla 2 las Técnicas de identificación de peligros pueden ser aplicadas a la identificación de estos en los procesos, equipos y al factor humano además éstas, en función de la forma en que evalúan el peligro pueden ser Cualitativas, Cuantitativas, o Híbridas, (Marhaviilas et al, 2011), (Cualitativas/Cuantitativas, Semi-Cualitativas).

En la Figura 1 se muestran los porcentajes de utilización de las tres categorías de técnicas de identificación de peligros (cualitativas, cuantitativas, e híbridas) que han sido determinadas por la literatura consultada en el periodo 2000-2009, (Marhavilas et al, 2011). Es de destacar la amplia utilización que han tenido las técnicas cuantitativas, por el carácter de los resultados que brindan, en estos años.

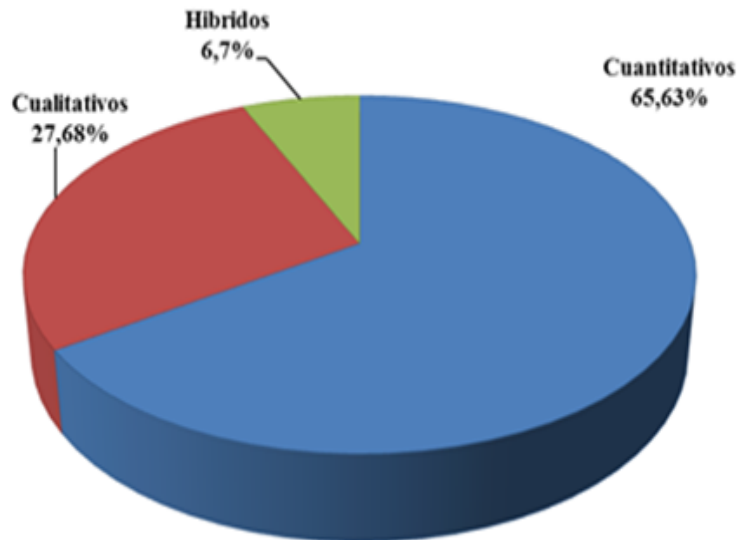


Figura 1. Utilización de las técnicas de identificación de peligros

3.6 Las técnicas de identificación de peligros y las etapas del ciclo de vida de un proyecto/proceso

A lo largo del ciclo de vida de un proyecto/proceso hay que realizar diferentes estudios o revisiones de seguridad para identificar y evaluar de forma adecuada los peligros que pueden aparecer.

A continuación se especifica el propósito que generalmente tienen los diferentes estudios de identificación de peligros que pueden realizarse a lo largo del ciclo de vida de un proyecto/proceso, mientras que en la Tabla 5 se presentan las Técnicas de investigación de peligros más utilizadas en cada etapa del ciclo de vida

Definición del Proceso (I+D):

Se lleva a cabo a la vez que se identifican las opciones de diseño del proyecto, por lo que se hace una revisión histórica de los incidentes de los procesos de la misma clase o tipo. Su propósito es servir de soporte preliminar para seleccionar los materiales que necesita el proceso e identificar las necesidades de información de seguridad del proceso.

Experimentación planta piloto (Diseño conceptual):

Su propósito es realizar una evaluación técnica y económica de la fiabilidad del diseño de los proyectos presentados para proporcionar información que ayude a realizar la selección y para definir el programa de estudios PHA necesarios en el futuro. Los resultados pueden hacer retrasar el estudio o abandonarlo si las preocupaciones son muy grandes.

Ingeniería básica, Proyecto Básico o definición del diseño:

Para avanzar en el desarrollo del diseño seleccionado, se puede realizar este estudio o construir una planta piloto y realizarlo sobre ésta. Su propósito es proporcionar información para el diseño inicial de sistemas de seguridad. Los resultados pueden retrasar o hacer abandonar el proyecto, pero es menos probable que en la etapa anterior debido al elevado coste que conlleva hacerlo a estas alturas.

Ingeniería detallada o Proyecto de detalle:

Este estudio tiene como propósito revisar, de forma exhaustiva, el diseño del proyecto para poder identificar y valorar todos los peligros asociados al mismo y para finalizar el diseño de seguridad antes de comenzar la construcción del proyecto y comprar el equipo.

Cualquier cambio que se tenga que introducir después de que haber comenzado la construcción será muy caro.

Construcción y puesta en funcionamiento:

Su propósito es verificar que todo se ha construido de acuerdo con lo diseñado y que todas las acciones de los estudios PHA anteriores se han incorporado. Es la última oportunidad para corregir las deficiencias.

Operación rutinaria o normal:

Una vez se ha finalizado la construcción del proyecto, se realizan evaluaciones periódicas con el propósito de garantizar que la operación se realiza de forma segura y de evaluar los cambios introducidos desde la puesta en funcionamiento.

Proceso de modificaciones o expansión:

Cuando se produce una modificación del diseño original hay que realizar un estudio con el propósito de evaluar las consecuencias que puede tener sobre la seguridad de la instalación, ya que es posible que introduzca nuevos peligros.

Estudio de Incidentes o accidentes:

Cuando se produce un incidente es necesario realizar un estudio para determinar las causas del mismo y así poder prevenirlo en el futuro.

Abandono del Proceso (cierre y/o desmantelamiento):

Antes de proceder al cierre y/o posterior desmantelamiento/demolición de una instalación es necesario realizar este estudio con el propósito de identificar los problemas de seguridad relacionados con esta actividad (normalmente se centra en la limpieza y los peligros asociados con los materiales de residuo).

Tabla 5. Técnicas de identificación de peligros más utilizadas en cada etapa del ciclo de vida

<i>Fase del ciclo de vida</i>	<i>Técnica de identificación de peligros recomendada</i>
1. Investigación y desarrollo	PrHA , What-if , Relative ranking (RR)
2. Diseño conceptual	PrHA , What-if , Checklist, Relative ranking (RR)
3. Ingeniería básica o definición del diseño	PrHA , What-if/checklist , HAZOP , FMEA
4. Ingeniería detallada	What-if/checklist , HAZOP , FMEA , FTA ETA
5. Construcción y puesta en funcionamiento	What-if/checklist , Safety review
6. Operación rutinaria	Checklist , HAZOP , FMEA , Safety review FTA , ETA , HRA , CCA
7. Proceso de modificación o expansión	What-if/checklist , HAZOP , FMEA , FTA ETA , Safety review , HRA , CCA
8. Investigación de incidentes o accidentes	What-if , HAZOP , FMEA , FTA , ETA HRA , CCA
9. Cierre y/o desmantelamiento	What-if/checklist , Safety review

4. CONCLUSIONES

Los objetivos propuestos para este trabajo fueron, en primer lugar, los de analizar y clasificar las principales técnicas utilizadas para la identificación y valoración de los peligros en los procesos de la Industria Química y en segundo orden vincular estas técnicas de identificación de los peligros con las diferentes etapas del ciclo de vida de estos proyectos/procesos.

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

- ✓ La revisión de la literatura científica revela que existe un gran volumen de artículos técnicos sobre el tema.
- ✓ Estos artículos abordan las técnicas de identificación y valoración de los peligros desarrolladas y practicadas en tales áreas además definen con exactitud las diferentes etapas del ciclo de vida de un proyecto/proceso de la Industria química.
- ✓ Las técnicas de identificación de los peligros son clasificadas en tres categorías principales: (a) las cualitativas, (b) las cuantitativas, y (c) las técnicas híbridas (Cualitativas/Cuantitativas, Semi- Cualitativas).
- ✓ La literatura consultada coincide en clasificar las diferentes etapas del ciclo de vida de un proyecto/proceso de la Industria química como sigue: Definición del Proceso (I+D), Experimentación planta piloto (Diseño conceptual), Proyecto Básico o definición del diseño, Proyecto de detalle, Construcción y puesta en funcionamiento, Operación normal, Proceso de modificaciones o expansión, Estudio de Incidentes o accidentes, Abandono del Proceso (cierre y/o desmantelamiento).

- ✓ En la tabla 5 se muestra la vinculación entre las fases del ciclo de vida del proyecto/proceso y las técnicas de identificación de peligros utilizadas.

REFERENCIAS

- CCPS- Center for Chemical Process Safety, Guidelines for Hazard Evaluation Procedures Second Edition with Worked Examples, AIChE-American Institute of Chemical Engineers, New York, 1992.
- CITMA. Guía Reguladora (GRIS-1.2), Preparación de Informes de Seguridad para Instalaciones con Peligro Mayor (IPM), Regulaciones de Informe de Seguridad (ORASEN), 2009.
- CITMA. Resolución 148/2013, Reglamento sobre la gestión de los riesgos a la seguridad de procesos en instalaciones industriales con peligro mayor, 2013.
- Crawle, F., Tyler B., Hazard Identification Methods. EPSC- European Process Safety Center/ICChemE-Institution of Chemical Engineers. London, 2003.
- Decreto-Ley No.309, De la seguridad química, 23 de febrero de 2013.
- James, R., Wells, G., Safety reviews and their timing, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 7, No.1, 1994, pp. 11-21.
- Joaquim, C., Montiel, H., Plana, E., Vílchez, Juan A., Análisis del riesgo en Instalaciones Industriales. Ediciones UPC, S.L. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España. 2001.
- Norma Internacional de Gestión de riesgos-Técnicas de evaluación de riesgos. IEC/FDIS 3101. 2009.
- Marhvilas, P. K., Koulouriotis, D. E., V. Gemeni., 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.
- Santamaría, J.M., Braña, P.A., Análisis y reducción de riesgos en la industria química, Fundación MAPFRE, Madrid, 1994.