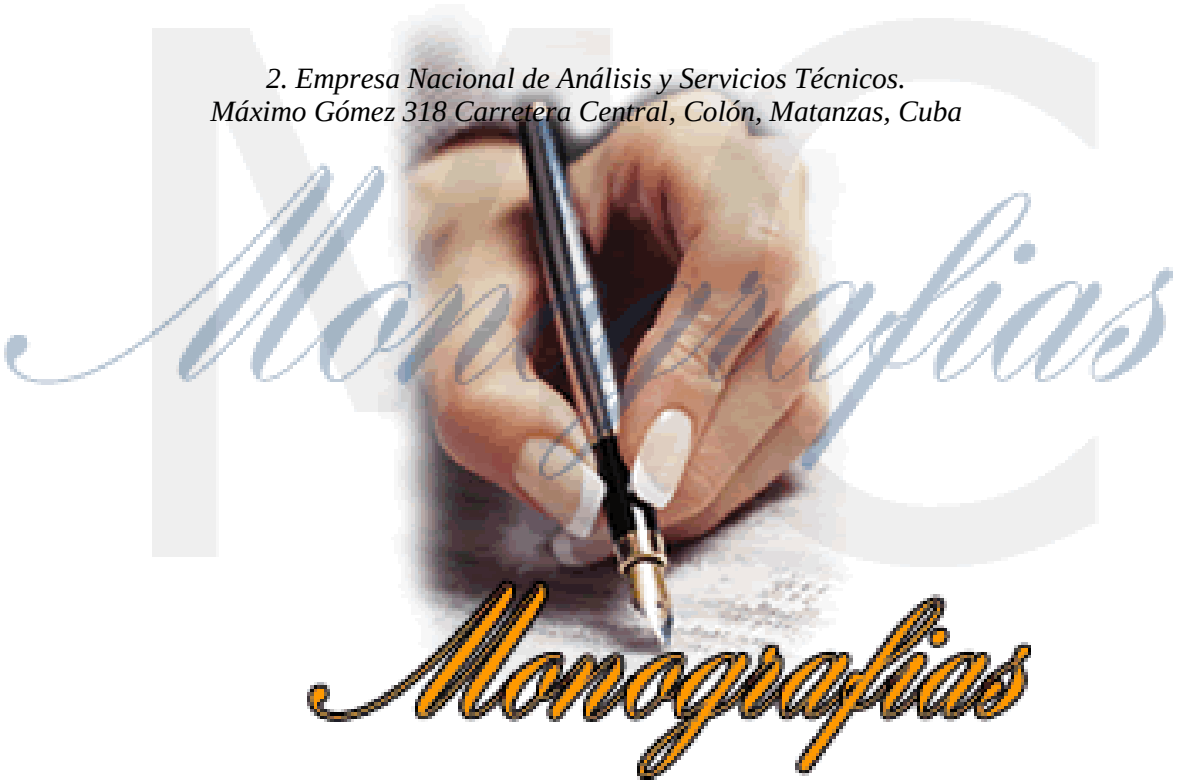
RIESGOS POR INCENDIO Y EXPLOSIÓN: MÉTODOS DE ANÁLISIS E ÍNDICES PARA LA EVALUACIÓN

Ing. Aliannys To ledo Hernández[2], Ing. Roberto A. Lugo Martínez[1], Dr.C. Jesús D. Luis Orozco[1], Dr.C. Yoney López Hervis[1]

1. Universidad de Matanzas – Sede "Camilo Cienfuegos", Vía Blanca Km.3,5. Matanzas, Cuba. yoney.lopez@umcc.cu

2. Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos. Máximo Gómez 318 Carretera Central, Colón, Matanzas, Cuba



CD de Monografías 2016
(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Resumen

En el presente trabajo se realiza una revisión de los principales aspectos vinculados a la evaluación de los riesgos industriales por incendio y explosión. Se enuncian términos y definiciones que resultan básicos y de gran importancia en relación con la identificación de los peligros tecnológicos y la evaluación de riesgos, en instalaciones en que se manipulan sustancias peligrosas y que exponen a la población, la economía, al medio ambiente y otros elementos del medio físico ubicado en su entorno. Luego, como complemento indispensable, se describen las principales técnicas hoy disponibles para identificar peligros y evaluar riesgos en una industria química. Se establece una clasificación en función del grado de especificidad y se analiza entonces el fundamento de cada una dando la posibilidad de compararlas en cuanto al ámbito de aplicación, el nivel de descripción y los factores que consideran para hacer la evaluación.

Palabras claves*: Riesgos industriales; Incendio y explosión; Análisis de riesgos.*

Introducción

Las plantas químicas y petroquímicas han sido históricamente las industrias con mayor registro de accidentes laborales. Algo que evidentemente está relacionado en muchas ocasiones con el desconocimiento y la incorrecta manipulación de productos químicos peligrosos que, por su carácter tóxico, corrosivo, inflamable, explosivo, oxidante, radioactivo o nocivo entrañan una cierta peligrosidad para los trabajadores.

Además de las características de las sustancias utilizadas, los accidentes por incendio y explosión, están vinculados a las condiciones de trabajo (presión, temperatura) y al estado de los equipos que almacenan o procesan este tipo de productos, porque los materiales con el tiempo sufren de fatiga y corrosión. De esta manera puede concluirse que los accidentes de origen tecnológico son evitables y ocurren fundamentalmente como consecuencia de errores humanos, fallo de materiales o por desviaciones del funcionamiento habitual de las maquinarias.

1.1 Generalidades sobre riesgos, incendio y explosiones

Entre los diferentes accidentes que pueden ocurrir en las industrias químicas, petroquímicas o en instalaciones que almacenan combustibles se encuentran los escapes, los incendios, las explosiones y la formación de nubes de gas. Se ha realizado una búsqueda bibliográfica sobre los aspectos relacionados para tener una mejor comprensión del origen, causas y consecuencias de éstos, y de la necesidad evidente de realizar estudios de riesgo que permitan prevenir la ocurrencia de accidentes.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Fagundo (2012) considera de vital importancia el estudio de riesgo en una instalación porque posibilita la preservación de la vida humana y posee una doble incidencia sobre el costo: por una parte, aumenta la seguridad del sistema y reduce o elimina el costo generalmente muy elevado de los accidentes; por otra, permite aumentar la disponibilidad del sistema, se eliminan las paradas y, como consecuencia se incrementa la productividad.

1.1.1 Conceptos generales acerca de riesgos

Peligro

Para PNUMA/IPSC (1999) es la posibilidad de que una sustancia, mezcla de éstas o procesos que involucran sustancias, bajo ciertas condiciones de producción, causen efectos adversos en los organismos o en el ambiente, por sus propiedades inherentes y de acuerdo con el grado de exposición.

Por su parte Troncoso (2010) define al peligro no como una posibilidad sino como el potencial físico o químico que tiene una sustancia, actividad, equipo o estructura para causar daños a las personas, a las instalaciones y/o al medio ambiente.

Riesgo

El término riesgo se asocia entonces con la probabilidad de ocurrencia de un determinado peligro. Una definición más rigurosa es la ofrecida por Casal *et al*. (2001) y es la basada en el producto de la frecuencia prevista para un determinado suceso por la magnitud de las consecuencias probables:

Riesgo = frecuencia x magnitud consecuencias

Es una expresión sencilla pero de poca aplicación práctica porque requiere identificar todos y cada uno de los peligros presentes en una instalación industrial. Además es necesario conocer la frecuencia con la que ocurrirá un evento no deseado y la magnitud del daño que se producirá. Esta tarea es muy costosa en términos de tiempo y recursos a emplear, por lo que ha llevado al desarrollo de metodologías encaminadas a la estimación más o menos precisa de estas magnitudes (Carol, 2001).

Por otra parte, Galán (2012) plantea que las formas más comunes de riesgos en las instalaciones son golpes, contactos térmicos, proyecciones, incendios y explosiones. Algo que está relacionado con las características peligrosas de las sustancias utilizadas (inflamables, tóxicas o explosivas), con las condiciones de trabajo (temperatura y presión) y con el estado de los materiales de los equipos (fatiga, corrosión). Por tanto, los accidentes pueden ocurrir como consecuencia de errores humanos, fallos de materiales, aparición de condiciones anormales de funcionamiento o desviación del funcionamiento habitual.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Para poder reducir los riesgos el primer paso es cumplir con las normas reglamentarias de las instalaciones.

Incendios

Galán (2012) define el incendio como una manifestación del fuego que se desarrolla sin control en el tiempo y en un lugar imprevisto provocando daños y pérdidas. El fuego es un fenómeno de reacciones químicas de oxidación-reducción con un elevado potencial exotérmico. En terminología de incendios el elemento que se oxida se denomina combustible y el oxidante es el comburente (se considera el oxígeno como el comburente típico).

Bové (2003) plantea que para que tenga lugar dicha reacción se necesita una energía mínima (energía de activación), que es la aportada en forma de calor por los focos de ignición.

Casal *et al*. (2001) reporta una tabla que refleja la distribución de las fuentes de ignición que originan incendios en la industria química y petroquímica, entre las más importantes, cabe destacar las llamas y el calor directo por superficies calientes, debido a las altas temperaturas a las que trabajan un gran número de equipos. Son bastante importantes las igniciones provocadas por el equipo eléctrico y por los cables que se calientan o rompen accidentalmente a causa de sobrecargas. También influyen las operaciones de mantenimiento, soldaduras y herramientas de corte. Algo con lo que Rodríguez (2006) está de acuerdo y afirma por tanto que la prevención debe estar dirigida a evitar que los elementos combustibles se encuentren cerca de zonas calientes o con llamas abiertas.

Para García (2014) en la industria los incendios pueden ocurrir de varias maneras que dependen de la naturaleza (propiedades físicas y químicas) y de la disposición del combustible:

- Incendio de líquidos (de sus vapores) en disposición abierta (de charco). El incendio se produce en una condición abierta (no presurizada): las manifestaciones de este tipo de incendio suelen ser la emisión de calor radiante y la de humos.

- Incendio de líquidos (de sus vapores) con rebosamientos violentos. Se presentan en los incendios de tanques para almacenamiento donde la altura del líquido combustible es considerable. Dan lugar a proyecciones o rebosamientos que pueden propagar el incendio.

- Incendio de gases o vapores en nube abierta (bola de fuego). Es el caso de inflamación inmediata de una nube de gases o vapores que se ha situado de forma rápida en espacio abierto. Sus efectos intrínsecos son: radiación térmica, muy intensa y de corta duración, originada en una llama voluminosa; evolución hacia la forma de hongo por el ascenso de gases muy calientes y más ligeros que el aire;

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

sobrepresión no significativa. Este caso se da, con efectos muy altos, cuando se produce la explosión con evaporación de gases licuados inflamables.

En una industria, los efectos de un incendio pueden ser devastadores, ya que la radiación térmica puede afectar a otras partes de la planta y generar nuevos accidentes como explosiones y, además, el humo puede complicar la actuación de los equipos de intervención por la falta de visibilidad (Casal *et al*., 2001).

Explosiones

Para Casal *et al*. (2001) las explosiones, en el ámbito industrial, se definen como una liberación repentina de energía que genera una onda de presión que se desplaza alejándose de la fuente y en ese tránsito va perdiendo energía. Las explosiones pueden ocurrir en:

1. Espacios cerrados por:

a) Ignición de mezclas gaseosas inflamables

Ocurre cuando habiéndose producido un escape de un gas o de un vapor inflamable en un área confinada, el gas está dentro de los límites de inflamabilidad y encuentra un punto de ignición.

b) Ignición de polvo combustible en suspensión

Para que se produzca la explosión de una nube de polvo es necesario que el polvo sea combustible, que las partículas tengan dimensiones y distribución adecuadas para la combustión, que el oxígeno sea suficiente para que la misma se mantenga; y, principalmente, es necesario que exista una fuente de ignición con energía suficiente para iniciar la reacción.

2. Espacios abiertos por:

a) Ignición de nubes de vapor no confinado

Las nubes de vapor no confinadas se generan a raíz del escape de una cantidad determinada de un vapor combustible que, al formar una mezcla con el aire dentro de los límites de inflamabilidad y si existe fuente de ignición, tiene lugar la explosión de la nube. Se considera una de las más peligrosas dentro de la industria química ya que los escapes tóxicos pueden producir más víctimas y, por otra parte, debido al alcance que puede llegar a tener la nube, la ignición de ésta puede producirse en un punto alejado de la fuente origen del vertido y afectar a grandes áreas.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

3. Por explosión de recipientes:

De acuerdo con Galán (2012), existen dos causas fundamentales por las que se produce la rotura de un recipiente:

- Por debilidad estructural (corrosión, erosión, fatiga, defecto de los materiales, etc.), por impactos externos.

- Por aumento de la presión interior debido a diferentes causas, entre ellas: sobrellenado, reacción fuera de control, explosión interna, fallo de un sistema de seguridad.

Casal *et al*. (2001) plantea que además pueden producirse explosiones de recipientes cuando se expande un gas comprimido.

También se incluyen en este apartado las explosiones tipo BLEVE (*boiling liquid expanding vapor explosion*), afirma Wells (1997). El fenómeno suele producirse cuando existe un calentamiento externo no deseado del recipiente, de manera que aumenta la presión y temperatura del líquido que contiene. Y además, si hay una abertura en él que puede ser una ruptura o apertura de una válvula, la disminución de presión provoca la ebullición del líquido al encontrarse a una temperatura mayor que la de saturación correspondiente a la nueva presión.

Las consecuencias de la explosión serán la onda de sobrepresión y la proyección de fragmentos, no siempre tienen efectos térmicos. No obstante, en la mayoría de los casos reales la sustancia involucrada es combustible; esto provoca que la explosión sea seguida por la formación de una bola de fuego, de efectos muy graves (Linares, 2013).

1.2 Métodos para el análisis de riesgos industriales

Para identificar los peligros presentes en una instalación industrial existen metodologías que, además, son ampliamente utilizadas para predecir la frecuencia con que ocurrirá un evento no deseado, así como conocer la magnitud del daño que se producirá. Estas evaluaciones pueden realizarse desde una perspectiva cualitativa donde se requiere un amplio conocimiento del proceso en estudio, a diferencia de los métodos cuantitativos, los cuales se caracterizan por recurrir a cálculos numéricos que tributan a una serie de índices que cuantifican daños (Carol, 2001).

Autores como Castro y Arcos (1998) y SPC (2002) dividen en tres grandes grupos las diferentes técnicas existentes para la realización de un análisis de riesgo:

a) Métodos comparativos.

b) Métodos generalizados.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

c) Índices de riesgo.

Los métodos comparativos, de acuerdo con Casal *et al*. (2001), proporcionan una primera idea general del peligro de la instalación a estudiar. Por su parte, los generalizados permiten una visión más detallada del peligro intrínseco y de operación de la instalación, pero no cuantifican las consecuencias de los accidentes ocasionados en una industria por lo que no constituyen el objetivo de estudio de este trabajo. En cambio, los índices de riesgos, también denominados por Saá (2009) como métodos semicualitativos, se caracterizan por recurrir a una clasificación de las áreas de una instalación en base a una serie de índices que miden su potencial para ocasionar un daño en función de una serie de magnitudes y criterios. Por tanto, a continuación serán explicados de forma resumida los métodos comparativos y los generalizados y se hará mayor énfasis en los índices de riesgos, con el objetivo de seleccionar aquel que más se ajuste a las características del proceso que se estudia y permita dar solución al problema en cuestión.

1.2.1 Métodos Comparativos

Para autores como GUIAR (2008) se fundamentan en el análisis de sucesos que hayan ocurrido en establecimientos parecidos al que se analiza, por lo que se utilizan técnicas obtenidas de la experiencia adquirida en equipos e instalaciones similares existentes.

Algunos de los métodos comparativos más utilizados son:

1. Análisis histórico de accidentes.

2. Listas de comprobación.

3. Análisis preliminar de peligros.

De forma general son métodos que se aplican en la identificación de posibles riesgos en una instalación en su etapa de diseño fundamentalmente porque requieren poca inversión en su realización y son adecuados para examinar los proyectos de modificaciones o plantas nuevas en una etapa inicial. Su gran ventaja es que detectan peligros reales que en el pasado se han puesto de manifiesto, pero pueden obviarse otros que también son potenciales, pero no han desencadenado en un accidente y por tanto no aparecen registrados. Asimismo los resultados obtenidos dependen mucho de la disponibilidad de la información y de la calidad de ésta en las fuentes consultadas.

1.2.2 Métodos generalizados

Los métodos generalizados de análisis de riesgos se basan en estudios de las instalaciones y procesos muchos más estructurados desde el punto de vista lógico-deductivo que los métodos comparativos. Normalmente siguen un procedimiento lógico de deducción de fallos, errores, desviaciones de equipos, instalaciones, procesos, operaciones, que trae como

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

consecuencia la obtención de determinadas soluciones para este tipo de eventos (GUIAR, 2008).

Para D.G.P.C. (1990) son los que requieren mayor información acerca del proceso a analizar y constituyen poderosas herramientas para la identificación de peligros y análisis de los riesgos asociados. Generalmente se utilizan en una etapa posterior al análisis de riesgos, cuando se ha seleccionado aquellos que requieren una evaluación más detallada.

A continuación se describen los métodos generalizados de mayor utilidad:

1. Análisis de peligro y operatividad (HAZOP, por sus siglas en inglés)

Según Mendoza (2009) el HAZOP 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.

Se utilizan una serie de palabras "guía" (no, más, menos, entre otras) destinadas a facilitar la búsqueda de posibles desviaciones al ser aplicadas sistemáticamente a los diferentes componentes de la instalación estudiada. Esta es una tarea que se realiza en un equipo que consta de un personal con amplios conocimientos de la planta, muy metódica y según un procedimiento formalizado, generándose información sobre las condiciones de los sistemas de control que permiten corregir esta situación (Vílchez, 2001).

2. Análisis *¿Qué sucedería si…?*

Rubio (2004) considera que es un método de análisis menos estructurado que el HAZOP. Como su nombre sugiere, consiste en cuestionarse el resultado de la presencia de sucesos no deseados que pueden provocar consecuencias adversas.

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.

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

Evidentemente, requiere un conocimiento básico del sistema y la capacidad para sintetizar las desviaciones posibles, por lo que es necesaria la presencia de personal con amplia experiencia para poder llevarlo a cabo.

3. Análisis de árbol de fallas

Para Casal (2001) es un proceso deductivo que se aplica a un sistema técnico o proceso para la identificación de los sucesos y las cadenas de sucesos que pueden conducir a un

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

incidente no deseado, en general un accidente o un fallo global de un sistema. Esta técnica permite evidenciar los puntos débiles de un sistema y cuantificar la probabilidad o frecuencia con que puede producirse un suceso.

La técnica del árbol de fallos es relativamente detallada y requiere un excelente conocimiento del sistema. Desde el punto de vista de documentación requiere desde los diagramas de tubería e instrumentación hasta los procedimientos de operación y mantenimiento seguidos.

Según Muñoz *et al*. (2009) es una técnica muy utilizada en los sistemas de calidad para identificar causas de fallos.

4. Análisis de árbol de eventos

El árbol de sucesos o análisis de secuencias de sucesos es un método inductivo que describe la evolución de un suceso iniciador sobre la base de la respuesta de distintos sistemas tecnológicos o condiciones externas. Partiendo del suceso inicial y considerando los factores condicionantes involucrados, el árbol describe las secuencias accidentales que conducen a distintos eventos. La técnica permite un estudio sistemático y exhaustivo de la evolución de un suceso y proporciona la lista de las secuencias accidentales posibles, número de elementos que la constituyen y tipo (éxito/fallo). Su aplicación es muy sencilla (D.G.P.C., 1990).

1.3 Índices de riesgo

El análisis de riesgos mediante índices es una técnica muy difundida, según Carol (2001). Su principal característica es que permite obtener resultados semicuantitativos con mucha rapidez y con un conocimiento muy reducido de la instalación objeto de estudio, por lo que los recursos humanos, materiales y temporales necesarios para su aplicación son escasos.

Garza (2007) plantea que aunque no constituyen una herramienta para la identificación de peligros, dan como resultado una clasificación relativa del riesgo asociado a un establecimiento industrial o a partes del mismo.

Otros autores clasifican los índices de riesgos en tres grandes categorías en función de su nivel de descripción (nd) de la realidad, como se muestra en la tabla 1.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Tabla 1: Índices de riesgos

Basados en la **definición de riesgo** (nd bajo)	Basados en la **carga de fuego** (nd medio)	Basados en la **peligrosidad de la sustancia** (nd alto)
Fine	MESERI	IFAL
SEPTRI	Gretener	IFE (Dow)
HRN	Coeficientes K	Mond (ICI)
	Coeficientes α	CEI (Dow)
	Eric	UCSP
	Purt	

Fuente: Luis (2010)

1.3.1 Índices basados en la definición matemática de riesgo

Son aquellos cuya aplicación se hace según la definición:

$$\text{Riesgo} = \text{Frecuencia} \times \text{Magnitud}$$

Se trata de una adaptación o desarrollo de esta definición, aunque incorporando algunos parámetros que permiten describir mejor el objeto de estudio (Carol, 2001). A continuación se exponen criterios sobre los índices que entran dentro de esta categoría de manera que puedan ser diferenciados:

Fine

Se trata de un método no exclusivo de la industria química, elaborado y publicado desde 1975, según reporta Montes de Oca (2013). Es apto para valorar cualquier tipo de peligro, de aplicación universal y muy simple pero con poca especificidad y selectividad. El método determina el grado de peligrosidad como un producto de la probabilidad de ocurrencia del suceso por dos coeficientes: uno de consecuencias y otro de exposición al riesgo. Su grado de representación de la realidad de un riesgo concreto es prácticamente nulo.

Sistema de evaluación y propuesta de tratamiento de riesgos (SEPTRI)

El método evalúa las consecuencias del evento en términos económicos, por ello no es válido para estimar otro tipo de daños susceptibles de ser considerados (daños a las personas y al medio ambiente). Su ámbito de aplicación no se restringe a un peligro concreto, sino que, al igual que el método Fine, es apto para evaluar cualquier factor de peligrosidad. Su aplicación requiere un conocimiento estadístico de las probabilidades de ocurrencia del evento que, por lo general, son difíciles de conocer, resultan incompletas, poco precisas, cuando no inexistentes (Rubio, 2004).

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

***Hazard Rating Number* (HRN)**

Su fundamento teórico es muy similar a los índices Fine y SEPTRI aunque en este caso se evalúan las consecuencias del evento en función del daño a las personas y no, como en los casos anteriores, como valor económico del daño.

De forma general se puede concluir que los índices basados en la definición matemática de riesgo son relativamente sencillos pero no son adecuados para identificar un peligro en concreto dada su descripción abstracta de la realidad.

1.3.2 Índices basados en la carga de fuego

Dentro de esta clasificación se encuentran aquellos que por diseño son aplicables a instalaciones genéricas (edificios industriales, comerciales o residenciales y procesos productivos de todo tipo), sin importar de forma significativa el tipo de actividad desarrollada en su interior. Se ha centrado el estudio en todos los índices que valoran el riesgo de incendio y explosión y serán explicados brevemente.

Método simplificado de evaluación del riesgo de incendio (MESERI)

Según Fuertes *et al*. (2003), el método fue desarrollado en 1990 y propone el cálculo de un índice simplificado del riesgo de incendio exclusivamente. Está especialmente orientado a evaluar el riesgo en edificios de uso general. Implica el conocimiento de las reglas técnicas de protección contra incendios para tener una idea aproximada del nivel de riesgo de incendio asumido en una instalación, esta sencillez le resta cualquier especificidad, y resulta muy limitada su aplicación sobre riesgos del sector químico, ya que no se tiene en cuenta las características del proceso, los materiales (reactividad, toxicidad) y los procedimientos de trabajo. Tampoco se contemplan otros daños que no sean los daños materiales y directos derivados del incendio, estando restringido en su aplicación al incendio en edificios sin analizar otro factor de riesgo adicional (fugas, derrames, contaminaciones).

Gretener

Fue desarrollado por el ingeniero suizo Max Gretener entre 1960 y 1965. Está orientado a la evaluación matemática del riesgo de incendio de las construcciones industriales y edificios, por lo que no toma en consideración otras situaciones de emergencia potencialmente peligrosas. No es un índice de riesgo específico para la industria química. No se contemplan las pérdidas derivadas de la paralización de la actividad a consecuencia del incendio. En general es un método más detallado y elaborado que el anterior pero su falta de especificidad en temas de industria química le restan aplicabilidad (Bové, 2003).

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Método de los coeficientes K

Es un método de evaluación que se basa en suponer que la acción destructora del fuego se desarrolla en dos ámbitos distintos: los edificios y su contenido. Pretende determinar si la estabilidad y la resistencia al fuego de un determinado recinto es suficiente o no en función del riesgo intrínseco del mismo para garantizar el confinamiento del incendio. Fagundo (2012) alega que hace una extensa referencia al equipamiento contra incendio y a las medidas de seguridad por lo que resulta demasiado complejo para una utilización operativa.

Método del Coeficiente α

Según Nguyen (2011) es un método de evaluación de riesgos parcial cuya finalidad es determinar para un sector las condiciones de aislamiento necesarias para garantizar, en caso de que el incendio se desarrolle en su interior, que sus consecuencias queden confinadas sin afectar a otros sectores. Por lo tanto, Garza (2007) plantea que al igual que el coeficiente K, son métodos básicamente para evaluar la resistencia al fuego de los elementos constructivos.

ERIC (*Evaluation du risc d'incendie par le càlcul*)

El método tiene por objeto la evaluación global del riesgo de incendio de un edificio o sector enfocado en una doble vertiente: el riesgo para las personas y el riesgo para los bienes. De acuerdo con Carol (2001) también pretende facilitar la aportación de medidas de seguridad que aumenten la calidad de ésta. Se basa en el método Gretener y está claramente enfocado al riesgo en edificios, diferenciando tres ambientes: industrial, establecimientos con gran afluencia de público, oficinas y viviendas.

Purt

El método se fundamenta en la base de que la reducción del riesgo de incendio se producirá si se disminuye la acción destructora del incendio, que se desarrolla en dos ámbitos distintos: los edificios y su contenido. Se trata de un método sencillo para identificar el riesgo de incendio, no es específico para la industria química. Ofrece resultados de forma más rápida y algo más sobredimensionados que el método Gretener, además de algunos contrasentidos como no valorar la presencia permanente de personal en la zona a valorar (Rubio, 2000).

Cabe destacar que aunque cada método hace énfasis en parámetros diferentes hay puntos de coincidencia entre los distintos métodos de evaluación del riesgo de incendio puesto que todos se desarrollan para ser aplicados a los edificios o cualquier tipo de construcción. Sin embargo contemplan superficialmente las características químicas de las sustancias limitándose a las de combustión y no tienen en cuenta riesgos como la toxicidad, explosión, reactividad, es decir, no se valora la peligrosidad intrínseca de las sustancias utilizadas y las condiciones de proceso. Además la gran mayoría de los métodos existentes evalúan

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

solamente la magnitud de las consecuencias derivadas del incendio, y no tienen en cuenta la probabilidad de inicio del incendio. Por todo esto se consideran de poca aplicación para el análisis que se pretende realizar en este trabajo porque no son útiles para valorar las industrias de gran riesgo como las petroquímicas.

1.3.3 Índices basados en la peligrosidad de las sustancias químicas

Dentro de esta categoría se contemplan, por la proximidad al objeto de estudio, aquellos desarrollados para valorar el riesgo en instalaciones industriales con actividad química, uso y manipulación de sustancias peligrosas que puedan dar lugar a la ocurrencia de incendios, explosiones, fugas o derrames, intoxicación.

Chirsten *et al.* (1994) considera que estos índices centran su atención en los peligros de incendio y explosión y pasan por alto, o valoran de forma muy superficial, los riesgos derivados de emisiones a la atmósfera o de vertimientos líquidos a cauces públicos. En general no están convenientemente evaluadas las consecuencias medioambientales.

A continuación se explican brevemente las características fundamentales de cada uno de ellos:

Método IFAL (*Instantaneous Fractional Annual Loss*)

Se basa en el cálculo de la pérdida anual esperada, expresada como fracción del total del valor de la planta evaluada, promediada durante un largo período de años y suponiendo que durante ese período las condiciones de operación se mantengan constantes. Se compone de tres factores: uno de ingeniería, uno de gerencia y el más importante, el de proceso, que incluye la evaluación de cinco escenarios diferentes: fuegos en líquidos, fuegos de vapores, explosiones de vapor no confinadas, explosiones de vapor confinadas y explosiones internas. Para cada una de estas situaciones se sigue la secuencia de ocurrencia: pérdida de integridad del continente, probabilidad de ignición, probabilidad de propagación del fuego o de la explosión y porcentaje de daños de la zona afectada (Carol, 2001).

Los criterios usados para la determinación de la probabilidad y gravedad de un suceso son fórmulas, tablas y gráficos experimentales. La probabilidad se evalúa como probabilidad de fallo de los equipos y no de sus componentes. Puede destacarse una estructura similar a un árbol de eventos y está orientado a los peligros existentes específicos de la industria química.

La principal utilidad de este método se encuentra en que durante la fase de diseño de una planta se puede estimar la variación de la pérdida anual esperada en función de las modificaciones que se van introduciendo.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Método UCSIP (*Union des Chambres Syndicales d'Industrie du Pétrole*)

Desarrollado en Francia para las industrias petroleras, refinerías y plantas petroquímicas, pero puede ser adaptado a otras industrias del sector químico. Sus objetivos son el análisis semicuantitativo de riesgos en términos de probabilidad y gravedad, que se integran en el cálculo del factor de seguridad. Éste se determina sobre la base de tres valores:

1. Participación en el riesgo del sistema, calculado en función de seis parámetros que caracterizan el sistema y que tienen asignada una determinada ponderación entre cero y cinco.

2. Importancia del riesgo en operación, calculado en función de seis parámetros que caracterizan la operación del sistema y que tienen asignada una determinada ponderación entre cero y cinco.

3. Nivel de gravedad, valor que mide la magnitud de las consecuencias y que adopta un valor entre cero y seis.

El nivel de gravedad contempla los siguientes escenarios accidentales:

1. Rotura de sistemas que transfieran un líquido a presión

2. Estallido de un equipo a presión

3. Pérdida de confinamiento de un tanque o depósito

4. Rotura de un equipo en rotación

Para cada uno de estos escenarios se desarrolla un árbol de sucesos y con la ayuda de 58 correlaciones o fórmulas se pueden estimar las consecuencias finales siguientes:

- Toxicidad
- Generación de proyectiles
- Sobrepresión por onda de choque
- Radiación térmica
- Derrame de líquido
- Dispersión de nube de gas.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Para autores como Carol (2001), los resultados aportados por estas correlaciones suelen ser simplificados y conservadores, en el sentido de que se adopten las correspondientes al peor caso esperado.

De forma general, D.G.P.C. (1990) plantea que el método precisa una menor dedicación de tiempo que el desarrollo y cuantificación mediante árboles de fallos y eventos. Pero no se realiza un análisis sistemático de causas que conducen al accidente por lo que se pierde la valiosa información que se recoge en este tipo de estudio. Tampoco permite evaluar el impacto de las posibles mejoras que se pueden incorporar a un sistema o circuito determinado.

Para los autores de este trabajo el método tiene poca aplicación por la complejidad de la metodología y porque requiere información que no siempre está disponible.

Índice CEI (*Chemical Exposure Index*) de Dow

La primera versión de este método fue elaborada en 1986 por la compañía Dow y la primera revisión fue publicada por AIChE (*American Institute of Chemical Engineers*) en 1994. El método contempla el riesgo de exposición a contaminantes químicos derivado de un accidente tecnológico agudo. No evalúa las probabilidades de ocurrencia del suceso y no valora la mayor o menor peligrosidad intrínseca del proceso, sino que únicamente estima la peligrosidad de manipular una sustancia peligrosa en un área determinada (Duclos y Binder, 1995).

Para valorar el impacto de una fuga accidental mediante el CEI, Carol (2001) considera cinco parámetros fundamentales: toxicidad, cantidad de materia emitida a la atmósfera, distancia al área sensible a la fuga, peso molecular de la sustancia y otras variables que influyen en la magnitud del daño. Cada uno de estos parámetros es ponderado en una escala de intervalo que varía de 0 a 4 y el producto de todos ellos da como resultado el índice CEI.

Otros autores como Etowa *et al*. (2002) opinan que el índice CEI facilita un método simple para valorar la posible gravedad para las personas en las proximidades de una planta debida a la manipulación de sustancias peligrosas como consecuencia de una fuga accidental. No pretende definir si una instalación es o no más segura que otra. Por sí mismo es una herramienta preliminar de evaluación de riesgos que permite priorizar las actuaciones correctoras allí donde la gravedad potencial es más evidente.

Índice IFE de Dow

El índice de incendio y explosión desarrollado por la empresa Dow y respaldado por la AIChE, es un índice de riesgo exclusivo para incendios y explosión en empresas químicas con riesgo de incendio significativo. Los objetivos del método son: cuantificar el daño esperado ocasionado por un incendio o una explosión, identificar los equipos que generen el mayor riesgo potencial y priorizar las medidas a adoptar (Rosero, 2015).

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Piedra y Valdivieso (2013) consideran que este índice es una de las herramientas usadas para la evaluación realista del riesgo potencial de fuego, explosión y reactividad química de los equipos de proceso y su contenido. Desarrollado en 1964, ha evolucionado hasta convertirse en un índice completo que proporciona una medida del riesgo relativo de pérdidas de unidades individuales de proceso debido a fuegos o a explosiones potenciales.

Aunque el método está diseñado principalmente para cualquier operación en la que se almacene, se maneje o se procese un material inflamable, combustible o reactivo, puede también ser utilizado para analizar pérdidas potenciales en instalaciones de tratamiento de aguas residuales, sistemas de distribución, tuberías, rectificadores, transformadores, calderas, y algunos elementos de centrales eléctricas. Se puede utilizar también para evaluaciones del riesgo de procesos pequeños como plantas pilotos con inventarios modestos de materiales potencialmente peligrosos (AIChE ,1994).

Storch (2001) plantea que el método permite evaluar riesgos de forma semicuantitativa para proyectos y para plantas existentes, comparar unidades y/o plantas entre sí, comparar procesos antes y después de modificaciones y sirve de referencia para promover la seguridad inherente de procesos. Además, permite establecer la rentabilidad de las inversiones en mejoras de seguridad. Es un método bastante económico en recursos y tiempo y requiere de buena información referente al proceso y equipos.

Muchos autores como Gupta *et al*. (2003); Fibbiani y Moreno (2004); Suardin *et al*. (2007) y GUIAR (2008), coinciden en que es el índice de peligro más reconocido por la industria química y proporciona información clave para evaluar el riesgo total de fuego y explosión

El método Índice de Dow de Fuego y Explosión se desarrolla siguiendo las etapas que propone Suardin (2005) y se comentan a continuación:

1. Dividir la planta en estudio en unidades de proceso para las que se determina su índice de incendio y explosión (IFE).

2. Determinar un factor material F_M para cada unidad de proceso.

3. Evaluar los factores de riesgo, considerando las condiciones generales de proceso (reacciones, transporte, accesos, etc.), denominadas F_1, y los riesgos específicos del proceso/producto peligroso, denominados F_2.

4. Calcular el factor de riesgo (F_3) como producto de F_1 y F_2 y el factor de daño para cada unidad determinada en la etapa 1. El factor de daño es función del factor de riesgo y el factor de material y se obtiene mediante una gráfica que proporciona el manual del método.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

5. Determinar los IFE como producto de F_M y F_3 y el área de exposición (A_E) para cada unidad de proceso seleccionada. El A_E es función del IFE y se obtiene mediante una figura que proporciona el manual del método.

6. Calcular el valor de sustitución del equipo en el área de exposición.

7. Calcular el daño máximo probable a la propiedad (MPPD) real, por consideración de los factores de bonificación, reflejo de los sistemas de protección de los que dispone la unidad.

8. Determinación de los máximos días de interrupción (MPDO) y los costos por interrupción de la actividad en estos días, como consecuencia del incendio o explosión en la unidad.

De forma general para llevar a cabo este tipo de análisis es necesario un mínimo de información como los diagramas detallados del proceso, la instrumentación implementada, hojas de especificaciones de equipos, los costos de la planta o unidad analizada y de ser posible, los gráficos actualizados de la edición más reciente de *Dow's Fire and Explosion Hazard Classification Guide.* Pero si se dispone de toda la información el IFE es el método más completo para evaluar riesgos por incendio y explosión en una instalación porque da la posibilidad de comparar unidades entre sí, y conocer el efecto de las modificaciones en los procesos. Puede aplicarse tanto a sistemas productivos como a sistemas de almacenamiento. Tiene en cuenta la toxicidad de las sustancias presentes, parámetro que otros métodos expuestos anteriormente no contemplaban y, además, considera la influencia de los valores de reactividad e inflamabilidad de las sustancias a través del factor material. Es bastante económico en recursos y tiempo.

Índice Mond

Método desarrollado inicialmente en la *Imperial Chemical Industries* (ICI) a partir del índice de Dow. La principal diferencia con el anterior es que el índice de Mond introduce la toxicidad de las sustancias presentes como factor independiente, considerando los efectos de las sustancias tóxicas por contacto cutáneo, inhalación o ingestión. También utiliza menos recursos gráficos, siendo necesario un mayor número de cálculos para determinar los parámetros a considerar (D.G.P.C., 1990).

Aboud (2008) coincide en que el método de los índices de Mond es parecido, en estructura y características, al método IFE de Dow. Pero señala como las diferencias más importantes las que se muestran a continuación:

1. Considera más detalles en los factores de riesgo y en las protecciones, por lo que utiliza índices correspondientes a los mismos.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

2. Considera de manera más específica los riesgos para la salud. Anteriormente esta era una diferencia muy relevante, pues las versiones anteriores del método de Dow no lo hacían, esta diferencia se ha resuelto en la versión número siete.

3. Proporciona índices desglosados frente a varios peligros.

En general es más detallado que el IFE de Dow, tiene en cuenta mayor número de parámetros de riesgo y bonificaciones y además facilita una clasificación de unidades en función del riesgo. Naturalmente, este método se seleccionará siempre que en la instalación se presenten sustancias tóxicas en cantidades apreciables y si bien es cierto que en una refinería de petróleo se manejan sustancias tóxicas como los compuestos sulfurados que acompañan al crudo, no es el parámetro que la caracteriza, sino la presencia de hidrocarburos que son combustibles, y productos de la destilación fraccionada del petróleo como el diesel y la gasolina, inflamables por naturaleza. Por tanto no se justifica la aplicación del índice Mond para el análisis que se quiere realizar cuando se cuenta con un índice tan completo como el IFE, que gana en detalles por ser más específico para industrias donde se manejen hidrocarburos y que es el más recomendado según las fuentes consultadas para estos casos.

Conclusiones

1. En las industrias petroquímicas o en instalaciones que almacenan combustibles los accidentes mayores que pueden ocurrir con más frecuencia son los incendios y las explosiones.

2. El estudio de riesgo en una instalación posibilita la prevención de accidentes y con ello se reduce el costo por indemnización a los trabajadores y por los daños materiales que implica.

3. El IFE de la compañía Dow, es el método más reconocido para evaluar riesgos por incendio y explosión en instalaciones donde se manejan hidrocarburos, según la bibliografía consultada.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Bibliografía

Aboud Almanssoor, A. (2008). Planning of Petrochemical Industry under Environmental Risk and Safety Considerations. A thesis presented to the University of Waterloo in fulfillment of the thesis requirement for the degree of Master of Applied Science in Chemical Engineering. Canada.

AIChE: American Institute of Chemical Engineers. (1994). Dow´s fire and explosion index hazard classification guide (7th Ed.). New York: AIChE.

Bové Badell, Marta (2003). Estudio comparativo y evaluación del Riesgo de Incendio en la Industria Química. Tesina del Máster en Dirección de Entidades Aseguradoras y Financieras. Universidad de Barcelona.

Carol Llopart, S. (2001). Una nueva metodología para la predicción de la gravedad en los accidentes industriales aplicando el análisis histórico. Departamento de Ingeniería Química. UPC.

Casal, J.; Montiel, H.; Planas, E. y Vílchez, J. A. (2001). Análisis de Riesgo en Instalaciones Industriales. Alfa omega S.A. Bogotá, Colombia.

Castro Delgado, R. y Arcos González, P. (1998). El riesgo de desastre químico como cuestión de salud pública. Publicado por Revista Española de salud Pública; 72:481-500. UIED. Universidad de Oviedo.

Chirsten, P; Bohnenblust, H.; Seitz, S. (1994). A Methodology for Assessing Catastrophic Damage to the Population and Environment: A Quantitative Multi-Attribute Approach for Risk Analysis Based on Fuzzy Set Theory, Process Safety Progress. p 234-238.

D.G.P.C: Dirección General de Protección Civil. (1990). Guía Técnica. Métodos cualitativos para el análisis de riesgos. España.

Duclos, P y Binder, S. (1995). Public health consequences of acute Chemical releases. Journal of Hazardous Materials. Vol 23, p 109-112

Etowa, C.B; Amyotte, P.R; Pegg, M.J y Khan, F.I. (2002). Quantification of inherent safety aspects of the Dow indices. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. Vol 15, Issue 6, p.447-487.

Fagundo Acosta, Jorge. (2012) Evaluación de riesgos por incendio y explosión en la planta de gas Energas.SA Varadero. Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas.

Fibbiani, Giuliano PSTL (Process Safety Technology Leader) para Europa del Sur y del Medio Este de Dow y Ángela Moreno, EH&S (Environmental, Health & Safety)

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Delivery Leader para Tarragona (Plastics and Polyurethanes Businesses). (2004). Disponible en http://www.interempresas.net

Fuertes Peña, J *et al*. (2003). Análisis comparativo de los principales métodos de evaluación del riesgo de incendio. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Sección Técnica N° 25-2003, Pág. 12 a 17., España.

Galán Fontanela, D. Saturnino. (2012). Explosión de equipos a presión, Análisis de riesgos y consecuencias. Proyecto Final para la obtención del título de Ingeniero Naval, especialidad en Propulsión y Servicios del Buque. Universidad Politécnica de Catalunya.

García Rodríguez, Alejandro. (2014). Análisis y evaluación preliminar de riesgos de accidentes tecnológicos en la Planta de Procesamiento de Crudo, Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo Centro. Trabajo de diploma para optar por el título de Ingeniero Químico. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. La Habana.

Garza, R.L. (2007). Análisis de los métodos complejos cualitativos para la evaluación del riesgo de incendio. Universidad Internacional, S. C. Tesis en opción al título Ing. en Mantenimiento y Seguridad Industrial. Pág. 60-99.

GUIAR: Grupo de Investigación Analítica de Riesgos (2008).Departamento de Química Analítica - CPS - Universidad de Zaragoza María de Luna, 3 - Edificio Torres Quevedo - E-50018 Zaragoza – SPAIN.

Gupta, Jai P; Khemani, S. y Mannan, M. Sam. (2003) Calculation of Fire and Explosion Index (F& EI) value for the Dow Guide taking credit for the loss control measures. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. Vol 16, Issue 4, p.235-241.

Linares Díaz, Alejandro. (2013). Análisis de riesgos en el área de almacenamiento de gas licuado del petróleo en la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas. Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas.

Luis Orozco, Jesús D. (2010). Análisis de riesgos industriales. Curso correspondiente a la maestría de ingeniería química. Departamento de química Ing. Química. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba.

Mendoza Murillo, Rodolfo. (2009). Metodología para el desarrollo de algoritmos de evaluación de riesgo en estaciones de bombeo de hidrocarburos. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Industrial. Instituto Politécnico Nacional de México.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Montes de Oca Peña, Wilfrido de Jesús. (2013). Elevada emisión de gases y vapores en las islas de carga de combustibles, del terminal pascuales de la EP Petroecuador; riesgos de incendio, explosión y su incidencia en la salud de los trabajadores; diseño de un plan de acción para la aplicación de las medidas de control correspondientes. Tesis de grado previo a la obtención del título de magister en seguridad, higiene industrial y salud ocupacional. Universidad de Guayaquil.

Muñoz, A.; [et. al]. (2009). La metodología de la Seguridad Industrial.

Nguyen Hoa, Mai. (2011). Determinación de áreas de peligro potencial que pueden originarse, por incendio y/o explosiones, en la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas. Trabajo de diploma presentado en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas.

Piedra G., Juan Pablo y Valdivieso T., Juan Carlos. (2013) Evaluación del riesgo de incendio y explosión e n una línea de extrusión de polietileno expandido. Tesis previa a la obtención del grado de Magister en Sistemas Integrados de Gestión de la Calidad, Ambiente y Seguridad. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador.

PNUMA/IPCS. (1999). Evaluación de riesgos químicos., Programa Nacional de las Naciones Unidas.

Rodríguez, R. T. (2006). Análisis de Riesgos Industriales en la Planta de Tratamiento Químico de Agua de la Central Termoeléctrica “Antonio Guiteras” de Matanzas. Tesis en opción al título de Ingeniero Químico. UMCC.

Rosero Ruiz, José Amable. (2015). Identificación y Evaluación de riesgo de incendio y explosión en el área de almacenamiento de productos limpios, tanque 1020, Simulación de efectos en caso de emergencia. Trabajo en opción del título de Ingeniero en Seguridad y Salud Ocupacional. Universidad Internacional SEK.

Rubio Romero, Juan Carlos. (2004) Métodos de evaluación de riesgos laborales. Editorial Díaz De Santos, Madrid.

Saá Loor, José Luis. (2009). Análisis de riesgos para la planta de tratamiento de crudo de Ecuador TLC S.A. Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Máster en Seguridad, Salud y Ambiente. Universidad San Francisco de Quito.

SPC: Servicio de Protección Civil. (2002). Procedimiento de evaluación de riesgos tecnológicos en el entorno. Barcelona-España.

Storch, J.M. (2001). Manual de Seguridad Industrial en Plantas Químicas y Petroleras. Fundamentos, evaluación de riesgos y diseño. Mc Graw Hill. Madrid-España.

(c) 2016, Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Suardin, J. (2005).The Integration of Dow´s Fire and Explosion Index into Process Design and Optimization to Achive an Inherently Safer Design. Submitted to the Office of Graduate Studies of Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science.

Suardin, Jaffee; Mannan, M. Sam y El-Halwagi, Mahmoud. (2007). The integration of Dow's fire and explosion index (F& EI) into process design and optimization to achieve inherently safer design. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. Vol 20, Issue 1, p.79-90

Troncoso, F. M. (2010). Gestión de Riesgo en Instalaciones Tecnológicas. CUJAE: La Habana.

Vílchez Sánchez, Juan A. (2001). Análisis de riesgos ambientales y aplicación al diseño de instalaciones industriales. Barcelona.

Wells, G. (1997). Major Hazards and their Management. Institution of Chemical Engineers. Houston-USA.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X