

La planificación estratégica del análisis de riesgo cuantitativo de procesos

Cabeza, María* y Cabrera, Edgar

Universidad Simón Bolívar, Dpto. de Tecnología de Servicios,
Valle de Sartenejas, Edo. Miranda 1202, Venezuela, Teléfono: 0212-9063111 ext 6135
*mcabeza@usb.ve

Resumen

El Análisis de Riesgo Cuantitativo (ARC) es una metodología relativamente nueva que ha probado ser valiosa como instrumento gerencial en la actuación de la seguridad total en la Industria, ya sea de Procesos Químicos (CPI), Petróleo o Procesos de Manufactura. Si bien sistemas gerenciales como los códigos de ingeniería, listas de verificación, y auditorías hechas por ingenieros experimentados han dado suficientes pruebas de su confiabilidad, también pueden ocurrir accidentes mayores que involucren numerosos heridos y daños significativos tal y como puede verse en las recientes catástrofes a nivel mundial. Esta herramienta, ayuda al ingeniero a cuantificar el riesgo y a analizar las estrategias de reducción de riesgo. En un proceso determinado, las contribuciones de éste al riesgo en general pueden identificarse y clasificarse por orden de prioridad. Un rango de la medida de reducción del riesgo puede aplicarse a los principales contribuyentes del riesgo y ser supervisados utilizando métodos costo-beneficio.

Palabras clave: Agentes, riesgo, gerencia, seguridad, proceso, accidentes.

Strategic planning of processes quantitative risk analysis

Abstract

Quantitative Risk Analysis (ARC) is a relatively new method that has proven to be valuable as a manager instrument in total security intervention at the chemical (CPI), oil, or manufacturing process Industries. Although management systems like the engineering codes, verification lists and audits done by experienced engineers have given sufficient reliability proofs, major accidents can also occur involving many injured and significant damage can be seen in recent world-wide level catastrophes. This tool helps the engineer, to quantify the risk and to analyze the strategies of risk reduction. In a determined process, its contributions to the risk in general can be identified and classified by priority. A rank of risk reduction measures can be applied to the main risk contributors and supervised by using cost-benefit methods.

Key words: Risk, management, security, process, accidents.

Recibido: 02-02-05 Revisado: 18-04-07

1. Introducción

En los últimos 15 años, la metodología del ARC, ha evolucionado mucho desde que comenzó en la industria aeroespacial, electrónica y nuclear. Los análisis de riesgo más extensos sobre potenciales catástrofes se realizaron en la industria nuclear, donde las Evaluaciones de Riesgos Probabilísticas (Probabilistic Risk Assessment PRAs) no son extrañas. La Guía de Procedimientos de PRA (NUREG, 1983) es el manual definitivo de las técnicas utilizadas en la industria nuclear. La Guía de Procedimientos de Análisis de Seguridad Probabilística (NUREG, 1984) es un documento similar publicado mayormente para que lo usen las agencias reguladoras en el campo nuclear; también se ha publicado una revisión del status de la PRA en la industria nuclear (NUREG, 1984).

La clave del ARC es un concepto sencillo que ofrece métodos para contestar las siguientes cuatro preguntas:

- ¿Qué puede ir mal?
- ¿Cuáles son las causas?
- ¿Cuáles son las consecuencias?
- ¿Cuál es la probabilidad que ocurra?

Una relativa aplicación del ARC es la comparación de las estrategias para la reducción del riesgo. Algunas organizaciones también usan el ARC en un sentido absoluto para confirmar que se han alcanzado metas referentes al riesgo: Una mayor reducción del riesgo, más allá de las metas anteriores, puede ser apropiada donde un análisis costo-efectividad lo permita.

La aplicación de todo el conjunto de técnicas del ARC una revisión cuantitativa de los riesgos que pueden hallarse en una instalación, que van desde incidentes frecuentes de bajas consecuencias hasta incidentes grandes y

comunes, utilizando una metodología uniforme y consistente. Una vez identificados los procesos del riesgo, técnicas del ARC pueden ayudar a centrar/enfocar los estudios de control de riesgo. Los mayores contribuyentes: riesgo pueden ser identificados, y pueden hacerse recomendaciones y tomarse decisiones, en cuanto a mec conectivas, sobre bases objetivas y consistentes.

EI ARC es una tecnología naciente dentro del CPI y hay variaciones de la terminología en la literatura publicada puede llevar a confusión. Por ejemplo, mientras en el "riesgo" viene definido como: "una medida de pér económica o humanas en términos de posibilidad del incidente y de magnitud de la pérdida, "los lectores deben € conscientes de que también se utilizan otras definiciones. Por ejemplo Kaplan y Garrick (1981) han discutido infinidad de posibles definiciones de "riesgo". Entre ellas están:

- Riesgo es una combinación de incertidumbre y daño.
- Riesgo es una relación de peligros y medidas de seguridad.
- Riesgo es una triple combinación de evento, probabilidad y consecuencia.

Ninguna organización o sociedad tiene los medios para llevar a cabo el ARC (a cualquier profundidad) sobre todo riesgos imaginables. A fin de decidir donde y cómo usar los medios disponibles, es necesario seleccionar los pu específicos para el estudio y optimizar la profundidad del estudio para cada punto seleccionado.

2. Procedimiento completo del ARC

Toda la lógica del ARC comprende los siguientes componentes técnicos:

Definición del ARC

Descripción del Sistema

Identificación del Riesgo

Enumeración de los incidentes

Selección

Construcción de un Modelo de ARC

Estimación de las consecuencias

Estimación de la Posibilidad

Estimación del Riesgo

Utilización de los Estimados del Riesgo

Más abajo se da un resumen de cada una de estas técnicas y en las secciones indicadas pueden encontrarse detalles sobre las mismas.

- **Definición del ARC:** El ARC convierte las necesidades del usuario en metas de estudio y en objetivos. Las mec del riesgo y los formatos de presentación del riesgo se escogen al terminar un objetivo de trabajo para el ARC. L se selecciona la profundidad del estudio basándose en los objetivos específicos definidos y en los recu disponibles. La necesidad de estudios especiales (Por ejemplo, la evaluación del efecto dominó, fallas en el sist de computación, o indisponibilidad de un sistema de protección) también es tomada en cuenta. La definición del concluye con la identificación del estudio de los requisitos específicos de la información, los cuales serán satisfechos medio de la construcción de la Base de Datos para el Análisis.
- **Descripción del Sistema:** La Descripción del Sistema es la compilación de la información del proceso/la planta se necesita para el análisis del riesgo; por ejemplo, ubicación del lugar, alrededores, datos del clima, diagrama flujo del proceso (PFDs), diagramas de las tuberías y de los equipos (PAIDs), dibujos de los tendidos de tube procedimientos de mantenimiento y de operación, documentación sobre la tecnología utilizada, química del proc datos sobre las propiedades termodinámicas, entre otros. Esta información se introduce en la base de datos pai Análisis para utilizarla durante el ARC.
- **Identificación del Riesgo:** La identificación del riesgo es un paso crítico en el ARC. Un riesgo omitido es un riesg analizado. Para este paso se dispone de muchos instrumentos, incluyendo experiencia, códigos de ingeniería, l de verificación, conocimiento detallado del proceso, experiencia en la falla del equipo, técnicas de índice de rie (Dow, Mond). ¿Análisis qué ocurre si...?, Estudios de Riesgo Operabilidad (HAZOP), Modos de Fallas y Análisis efecto (FMBA), Análisis Preliminar del Riesgo (PHA). Estos instrumentos se analizan extensamente en la Guía (AICHE/CCPS, 1985). En el cuadro 1.2 se listan procesos típicos de riesgo identificados con estas técnicas. (1980), Mashall (1981) y Bretherick (1983) dan información adicional en riesgos químicos comunes.
- **Enumeración de los Incidentes:** La enumeración de los Incidentes es la identificación y tabulación de todos incidentes sin tomar en cuenta la importancia o el motivo del mismo. Este también es un paso crítico, ya qu incidente omitido es un incidente no analizado
- **Selección:** La selección es el proceso por medio del cual se eligen uno o más incidentes significativos representar todos los incidentes identificados, para identificar las manifestaciones de los incidentes y para desarr los incidentes en sí.
- **Construcción del Modelo para el ARC:** Este paso cubre la selección de los modelos de consecuencia apropia métodos de estimación de la posibilidad y su integración a un algoritmo total para producir y presentar los estim del riesgo para el sistema en estudio. Mientras que varios algoritmos pueden sintetizarse, una forma básica prioritaria puede construirse para crear oportunidades que reduzcan el tiempo y el esfuerzo requerido procedimientos menos estructurados.
- **Estimación de las Consecuencias:** La estimación de las consecuencias es la metodología utilizada para determin daño potencial de incidentes específicos. Un sólo incidente (por ejemplo, la ruptura de un tanque presurizad líquido inflamable) puede tener muchas manifestaciones diferentes (por ejemplo, Explosión No Confinada de

líquido inflamable) puede tener muchas manifestaciones diferentes (por ejemplo, explosión no-continua de nube de vapor (UVCE), Explosión del vapor en Expansión de un líquido hirviendo (BLEVE), un fogonazo. E manifestaciones se analizan usando modelos de fuente y dispersión de modelos de incendio y explosión. Los modelos de efecto se usan para determinar las consecuencias en las personas o estructuras. Acciones evasivas como refugio o evacuación pueden reducir la magnitud de las consecuencias y pueden incluirse en el análisis.

- **Estimación de la Probabilidad:** La estimación de la Probabilidad es la metodología utilizada para estimar frecuencia o probabilidad de la ocurrencia de un incidente. Los estimados pueden obtenerse de datos históricos o la frecuencia de los fallos, o de los modelos de secuencia de fallos, tales como árboles de fallos y árboles de eventos. La mayoría de los sistemas requiere la consideración de factores tales como fallas de causa común o un solo factor lleva a la falla simultánea de varios sistemas, por ejemplo, fallas de energía, confiabilidad humana y eventos externos.
- **Estimación del Riesgo:** La Estimación del Riesgo combina las consecuencias y la probabilidad de todos los incidentes seleccionados para suministrar una medida del riesgo. Los riesgos de todos los incidentes seleccionados se estiman individualmente y se suman para así obtener una medida total del riesgo. En la práctica se discuten la sensibilidad, incertidumbre de los estimados del riesgo, y la importancia de los diferentes incidentes que contribuyen con los estimados.
- **Utilización de los Estimados del Riesgo:** Este es el proceso por medio del cual los resultados de un análisis de riesgo se usan para tomar decisiones, bien sea por medio de los rangos relativos de las estrategias de reducción del riesgo o por medio de la comparación con objetivos (blancos) específicos de riesgo.

El último paso del ARC (utilización de los estimados del Riesgo) es el paso clave en una evaluación del riesgo. Este paso requiere que el usuario compare el estimado del riesgo del ARC con los objetivos (blancos) de riesgo suministrados y decida si se necesitan más medidas de reducción del riesgo. Este paso ha sido incluido como componente de las técnicas del ARC para enfatizar su influencia en el diseño del algoritmo del ARC; pero en el manual, este paso no ha sido analizado detalladamente.

La modificación de los sistemas incluye la proposición y evaluación de las estrategias para la reducción del riesgo por parte de las personas que conocen el proceso tecnológico. La estimación del riesgo da una visión más aguda del posible grado de reducción del riesgo y de las áreas donde la reducción del riesgo puede ser más efectiva. Las estrategias propuestas para la reducción del riesgo pueden incorporar cambios tanto al diseño como a la operación del sistema a fin de eliminar o reducir las consecuencias o frecuencias de los incidentes; tales proposiciones necesitan mostrarse para poder cubrir todas las necesidades de la empresa (por ejemplo, calidad, capacidad legalidad y costo) antes de que sean revisadas por las técnicas del ARC.

Las otras necesidades del usuario se explican por sí mismas y se tratan con más detalle en la discusión del procedimiento de evaluación del riesgo y en el programa relacionado con la gerencia del riesgo. Procedimiento para el Orden Prioritario en el ARC

3. Procedimiento para el orden prioritario en el ARC

La mayoría de las aplicaciones de la metodología del ARC no necesitarán usar todas las técnicas introducidas en el manual. Las técnicas del ARC son flexibles y pueden aplicarse selectivamente en varios órdenes. La estimación de consecuencias puede utilizarse como un filtro para identificar riesgos de consecuencias negligentes (y por lo tanto alto riesgo por negligencia) para evitar una detallada estimación de frecuencia. Igualmente, la estimación puede utilizarse para identificar los riesgos de una pequeña probabilidad de ocurrencia cuyos estimados de las consecuencias son innecesarios. Como ya se discutió, los diferentes procedimientos algorítmicos pueden construirse como un resultado de cada procedimiento presenta un orden prioritario de los cálculos que se realizarán. Se pueden utilizar varios criterios para desarrollar el orden de precedencia. Cada orden ofrece ventajas y desventajas. No se recomienda ningún orden específico, ni ninguno es considerado óptimo.

El procedimiento, fue creado para ilustrar una forma de poner en orden de prioridades el esfuerzo hecho con los cálculos. Este procedimiento fue diseñado para suministrar oportunidades que reduzcan el tiempo y el esfuerzo necesarios para alcanzar resultados aceptables. Estas oportunidades surgen naturalmente debido al orden de los cálculos. Los criterios para establecer la prioridad de los cálculos se basan en la madurez de las técnicas y en la facilidad de uso. Las técnicas de estimación de las consecuencias más maduras son las que reciben las prioridades más altas. Estas técnicas también son las que se ejecutan con más facilidad. El grado de esfuerzo y las incertidumbres aumentan durante el procedimiento, mientras que la madurez de las técnicas disminuye.

El procedimiento para el orden prioritario en el procedimiento del ARC, incluye los siguientes pasos:

Paso 1 - Definir ARC

Paso 2 - Describir sistemas

Paso 3 - Identificar riesgos

Paso 4 - Enumerar los incidentes

Paso 5 - Seleccionar los incidentes, las manifestaciones de los incidentes, y los casos de incidentes.

Paso 6 - Estimar las Consecuencias: Si las consecuencias de un incidente son aceptables a cualquier frecuencia de ocurrencia el análisis del riesgo es completo. Esta es una simplificación del análisis del riesgo, en el cual se asume que la probabilidad de ocurrencia del incidente dentro del período de tiempo que nos interesa es de 1.0 (es muy probable que ocurra el incidente). Por ejemplo, el derrame de un tanque de glicol- etileno en un sistema de contención representa un riesgo mínimo incluso si el hecho ocurriera. Si las consecuencias no son aceptables, proceda al Paso 7.

Paso 7 - Modificar el Sistema para Reducir las Consecuencias. Las medidas para reducir las consecuencias deber propuestas y evaluadas. El análisis, entonces, vuelve al Paso 2, para determinar si las modificaciones introducidos nuevos riesgos, y para reestimar las consecuencias. Si no hay modificaciones factibles técnicamen económicamente viables, o si las modificaciones no eliminan las consecuencias inaceptables, proceda al Paso 8. Paso 8 - Estimar la Frecuencia. Si la frecuencia de un incidente es aceptablemente baja, dadas las consecuer estimadas, el análisis del incidente está completo. Si no, proceda al Paso 9. Paso 9 - Modificar el Sistema para Reducir las Frecuencias. Este paso es muy parecido al Paso 7. Si no modificaciones factibles técnicamente y económicamente viables que permitan reducir la frecuencia a un r aceptable, proceda al Paso 10. Si no es así, vuelva al Paso 2.

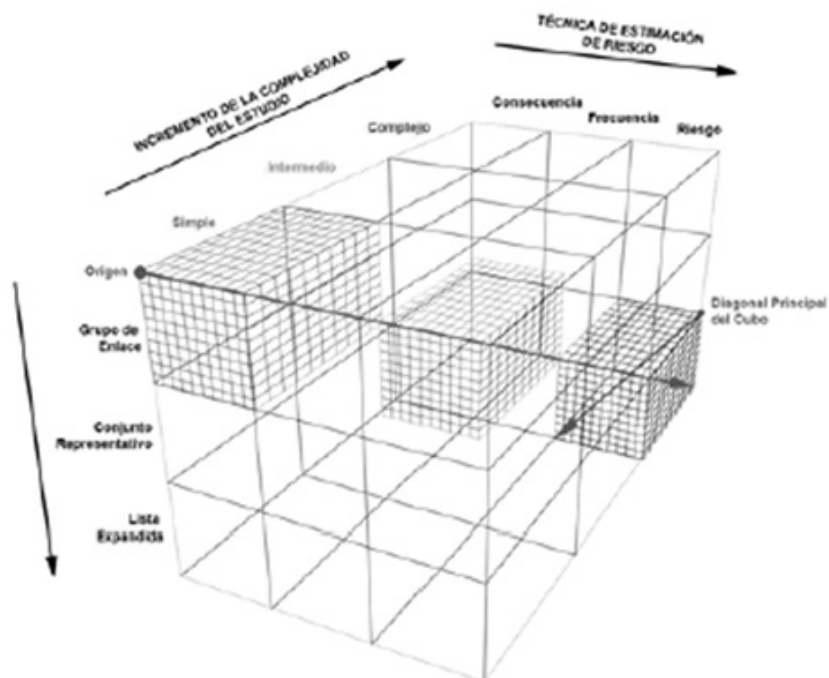


Fig. 1. El cubo de estudio. Fuente, Cabeza Maria A. y Cabrita Edgar.

Paso 10 - Combinar la Frecuencia y las Consecuencias para Estimar el Riesgo. Si el estimado del riesgo está al r o por debajo del blanco, o si la estrategia propuesta ofrece una reducción aceptable del riesgo, el ARC está termin y el diseño está aceptado.

Paso 11 - Modificar el Sistema para Reducir el Riesgo. Este paso es idéntico a los Pasos 7 y 9. Si no se encuen modificaciones para reducir el riesgo a un nivel aceptable, entonces es necesario hacer cambios fundamentale diseño del proceso, a las necesidades del usuario, a la selección del lugar, o a la estrategia de la empresa.

4. El cubo de estudio

Los ARC varían desde estudios simples y "en bosquejo" hasta análisis detallados del riesgo que estudian un número de incidentes, utilizando modelos de frecuencias y consecuencia altamente sofisticados. Entre e extremos existe un grupo de ARC que no tienen límites estrictamente definidos o categorías establecidas. entender mejor como varía el objetivo para los ARC resulta muy útil la utilización de la figura del Cubo, ver Figui donde los ejes representan los tres factores principales que definen el objetivo del ARC: técnica de la estimación riesgo, complejidad del análisis, y número de incidentes seleccionados para el estudio. Este arreglo también permite considerar "planos" a través del cubo, en los cuales el valor de uno de los factores se mantiene constante

Tabla 1. Desarrollo de la complejidad de los valores del eje para el Cubo de Estudio. Los valores de la diagonal principal (celdas sombreadas) corresponde con los "valores de complejidad del estudio" usados en la Figura 1. Fuente, Cabeza Maria A. y Cabrita Edgar. Variables utilizadas en Ambiente Higiene y Seguridad

| | PEQUEÑO | MEDIANO | GRANDE |
|-----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| ELEMENTAL | SIMPLE | SIMPLE/ INTERMEDIO | INTERMEDIO |
| AVANZADO | SIMPLE/ INTERMEDIO | INTERMEDIO | INTERMEDIO/ COMPLEJO |

| | | | |
|-------------|------------|------------------------|----------|
| | INTERMEDIO | INTERMEDIO COMPLEJO | COMPLEJO |
| SOFISTICADO | INTERMEDIO | INTERMEDIO COMPLEJO | COMPLEJO |

Para este punto, cada eje del cubo de estudio ha sido dividido arbitrariamente en tres niveles de complejidad. Est como resultado un total de 27 categorías de ARC dependiendo de qué combinaciones de complejidad de tratami se seleccionan para los tres factores. Cada célula del Cubo representa una caracterización. Sin embargo, alg células representan combinaciones de características que es más probable que resulten más útiles en el curso d proyecto o en el análisis de una instalación existente.

4.1 Técnica de estimación del riesgo

Cada uno de los componentes de este eje corresponde a un punto de salida del estudio en la Figura 2. La complej y nivel de esfuerzo necesarios aumenta junto con el eje (desde la consecuencia, pasando por la frecuencia, h llegar a la estimación del riesgo) pero no necesariamente en forma lineal. Por ejemplo, el esfuerzo y los recu requeridos pueden aumentar factorialmente si se necesita la estimación total del riesgo.

Por otra parte, la representación de la estimación por consecuencia frecuencia y riesgo es un indicativo del nive madurez de estas técnicas. La cuantificación de las consecuencias de un incidente que implique la pérdida de fl ha sido estudiada intensamente. Una vez que se ha establecido el nivel de escape, el desarrollo de la nube de v resultante puede describirse bastante bien por medio de los diferentes modelos de fuente y dispersión, a pesa que existen vacíos en la comprensión de éstas, particularmente en las descargas bi-fásicas y destellantes (flashing twofaced discharges). La cuantificación de la frecuencia del incidente es menos comprendida Cuando no se disp de da- tos históricos, los métodos del análisis del árbol de fallos (AAF) y del análisis del árbol de eventos (AAE) los utilizados. Estos métodos dependen mucho del juicio y experiencia del analista y no son tan utilizados en el como los modelos de consecuencia. Finalmente, la estimación del riesgo, por medio de la generación de curva riesgo social o de contornos de riesgo individual, es una metodología relativamente nueva Aún queda mucho aprender acerca de cómo producir un estimado de riesgo verdaderamente representativo con un mínimc incertidumbre y predisposición.

Complejidad del estudio. Este eje representa una escala compleja para los ARC. La posición a lo largo del ej deriva de dos factores:

- La complejidad de los modelos que se usaran en el estudio.
- El número de incidentes que se estudiarán.

4.2 Planos a través del cubo de estudio:

El Cubo de Estudio suministrará el marco conceptual para discutir los factores que influyen en la profundidac ARC. Este es dividido, arbitrariamente en 27 celdas (o casillas), cada una definida por tres factores, y para factor, o eje del Cubo, se suministran las escalas cualitativas.

Además de considerar celdas (o casillas) en el Cubo de Estudio, es conveniente referirse a los planos a través cubo, especialmente a través del eje de la técnica de estimación del riesgo. Existe un plano separado par Estimación de las consecuencias, de la Frecuencia y del Riesgo. La Técnica de Estimación del Riesgo se fija cualquier parte dentro de uno de estos planos. En relación a los estudios del plano de consecuencias, hay nueve combinaciones de la complejidad del estudio y número de los incidentes seleccionados. El uso del concepto del p cuando se describe el ARC es para reforzar la idea de que existen varios grados de libertad cuando se defin objetivo de un estudio de ARC, y, sólo para citar la técnica de estimación del riesgo, no es suficiente para utiliz cuando se discuten niveles específicos de ARC.

5. Metas típicas de los ARC

Entre las cuales se destacan grupos de incidentes que son apropiados para alcanzar cada meta. Lo ideal s considerar todos los incidentes en cada análisis, pero las restricciones de tiempo y dinero requieren la optimiza del número de incidentes estudiados. En consecuencia, se prefieren otros grupos de incidentes a los suministr por la lista expansiva.

Las metas que son apropiados para un proyecto capital que surge serán restringidas por la información dispon Sin embargo, para una planta ya construida y en operación siempre se dispondrá de suficiente información satisfacer cualquiera de las metas. La cantidad y calidad de la información disponible para un ARC depende c etapa en que estaba el proceso para cuando sé realizó el estudio. Se debe realizar una profundización específica estudio sólo si la información disponible sobre el proceso iguala o excede la información requerida. Cada uno d 27 pasos (profundizaciones) del estudio que muestra el Cubo de Estudio tiene requerimientos específicos información. La información requerida para un ARC es una función no sólo de la posición de la correspondiente c (o casilla) en el Cubo de Estudio seleccionado (profundización del estudio), sino también de objetivos de est específico. En general, las necesidades de la información aumentan a medida que:

- El número de incidentes aumenta,
- Aumenta la complejidad del estudio (número de casas y complejidad de los modelos).

- La técnica de estimación progresa desde los cálculos de la estimación de las consecuencias hasta los de estimación del riesgo, pasando por los cálculos de estimación de la frecuencia.

Conceptualmente, los requerimientos de la información aumentan al moverse desde el origen a todo lo largo de la diagonal principal del Cubo de Estadio. Los objetivos específicos de estudio se desarrollan desde las metas del estudio por medio de la gerencia de proyectos. Estos objetivos pueden añadir requisitos de información (a veces únicos) a aquellos establecidos por la posición en el Cubo.

A fin de discutir puntos importantes de la especificación de estudio, es conveniente limitar la atención a tres de las 27 celdas (o casillas) del cubo. Estas tres celdas (o casillas) son un ARC Simple/Consecuencia, un ARC Intermedio/Frecuencia, un ARC Complejo/Riesgo. Ellas ocupan la diagonal principal del cubo, tal y como se ve en la Figura 2. Las tres celdas (o casillas) están definidas en términos de una resolución del ARC Creciente. La elección de estas celdas (o casillas) no implica que representen los tipos más comunes de estudios de riesgo. Sólo se presentan para explicar los parámetros generales de esta forma de presentación de la profundización del estudio del ARC.

6. Conclusiones

El Análisis Cuantitativo del Riesgo, permite acotar los distintos riesgos que pueden ocurrir en el sector industrial. Los riesgos mayores pueden identificarse a partir de un estudio del inventario. Cuando se trate de riesgos tóxicos pueden utilizarse modelos simples de dispersión, asumiendo el peor Incidente Creíble o el Peor Incidente Posible y las peores condiciones, climáticas. Donde los riesgos son incendios o explosiones pueden hacerse estudios de consecuencias simples. Las zonas de efecto estimadas pueden delimitarse en el mapa para determinar puntos vulnerables (población expuesta al riesgo), riesgo financiero, interrupción del trabajo, etc.); para fines de clasificación, los estimados de la población local pueden ser suficientes. Naturalmente, cuando se encuentran puntos vulnerables significativos, estudios más detallados pueden ser necesarios.

Referencias

1. AICHF/CCPS, 1985, Guidelines for hazard evaluation procedures. Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, New York.
2. AICHE/CCPS, 1988a. Guidelines for safe storage and handling of high toxic hazard materials. Center for Chemical Process Safety. American Institute of Chemical Engineers, New York.
3. AICHE/CCPS, 1988b, Guidelines for vapor release mitigations. Center for Chemical Process Safety. American Institute of Chemical Engineers, New York.
4. Ballard GM, 1987, Reliability Analysis - Present capability and future developments SRS Quarterly Digest, System Reliability Service, UK Atomic Energy Authority, Warrington, England, pp. 3-11.
5. Bretherick L, 1983, Handbook of reactive chemical hazards, 2nd edition, Butterworths, London.
6. Dow, 1987, Fire and explosion index - Hazard classification guide, 6th edition, CEP Technical Manual, American Institute of Chemical Engineers, New York.
7. Freeman RA, 1983, Problems with Risk Analysis in the Chemical Industry, Plant/Operations Progress, 2(3), 185-90.
8. Helmers EN y Schaller LC, 1982, Calculated process risk and hazards management, AICHE Meeting, Orlando, American Institute of Chemical Engineers, New York.
9. ICHIME (Institution of Chemical Engineers), 1985, Nomenclature of hazard and risk assessment in the process industries. Institution of Chemical Engineers, UK.
10. ICI (Imperial Chemical Industries), 1985, The Mond index, 2nd edition, ICI PLC, Explosion hazards section, Technical Department Winnington, Northwick Cheshire CW8 4DJ, England.
11. Joschek KT, 1983, Risk assessment in the chemical industry, Plant/Operations Progress 2, pp. 1-5.
12. Lees FP, 1994, Loss prevention in the process industries, 2 volumes, Butterworths, London and Boston.
13. Marshall VC, 1987, Major chemical hazard, Halsted Press, Division of John Wiley & Sons, Inc., New York.
14. Mudan KS, 1987, Hazard ranking for chemical processing facilities, ASME Winter Annual Meeting, Boston, MA.
15. NFPA 325M, 1984, Fire hazard properties of flammable liquids, gases, and volatile solids, National Fire Protection Association, Quincy, MA.
16. NUREG, 1985, Probabilistic safety analysis procedures guide, NUREG/CR-2815, Nuclear Regulatory Commission.

Washington D.C (available from NTIS).

17. US EPA, 1980, Chemical selection method. Annotated bibliography, Toxic Integration Information Series, 560/TUS-80-001 (available from NTIS).

18. US EPA, 1981, Chemical scoring system development by R.H. Ross y M P. Lu, Oak Ridge National Laborat Interagency Agreement No 79-D-X9856 (available from NTI).