



INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS

Congreso Seguridad, Salud y Medio Ambiente

El Rol del Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) en la Gestión de Riesgos

Eur Ing **José Antonio Rodríguez Seijas** MSc, CEng, MChemE

Consultor de Gestión de Riesgos

QHSE Energy Services

Buenos Aires, 12 de Marzo de 2010

El Rol del Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) en la Gestión de Riesgos

Contenido

Sinopsis	3
Introducción	4
Desarrollo del ACR.....	5
Terminología	5
Que es un ACR?	7
Cálculo de las Medidas de Riesgo	8
Proceso de Elaboración de un Estudio ACR	13
Proceso de Valoración del Riesgo	17
Proceso de Determinación de las Medidas de Control del Riesgo	18
Documentación, Comunicación y Mejoramiento Continuo	21
Deficiencias en el Proceso de ACR	22
Conclusiones.	22
Bibliografía	23
El Autor	24

El Rol del Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) en la Gestión de Riesgos

Sinopsis

La industria a través de los años, ha aprendido que para enfrentar de forma exitosa la toma de decisiones sobre los riesgos, no es suficiente con ejercer esfuerzos mínimos provenientes de la sola aplicación de las regulaciones, sino que conlleva la implantación de un sistema de gestión de riesgos, profundamente arraigado en el proceso de toma de decisiones de la empresa. La herramienta de Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) se enmarca dentro de ese sistema de gestión de riesgos, como uno de los elementos principales del mismo, y a la vez como uno de los más objetivos y que mejor información proveen a la hora de tomar decisiones.

Sobre ACR se han publicado innumerables textos y estudios, pero casi de forma unánime, estos normalmente explican como calcular en detalle la frecuencia y consecuencias de eventos. Muy pocos, por no decir casi ninguno, explican cómo combinar estos factores para producir medidas específicas del riesgo.

Este artículo trata de explicar de forma sencilla el cálculo del riesgo, y de aclarar la confusión existente sobre el significado práctico de algunos de los elementos del ACR. Igualmente, el artículo trata de definir el proceso de un ACR adecuadamente realizado, y el rol y beneficios del mismo en el proceso de toma de decisiones adecuadas e inteligentes. Al hacer esto, se ilustrará por sí sola la complejidad del concepto riesgo, y el hecho de que no existe una respuesta simple y única a la pregunta, ¿qué es riesgo?

Se concluye, entre otros aspectos, que el proceso de gestión de riesgos, apoyado en un adecuado proceso de ACR, es el punto de inicio para asegurar la integridad de las instalaciones y equipos y operaciones seguras. De igual forma se concluye que el proceso de aplicación del ACR está menoscabado por una serie de deficiencias que comprometen seriamente la utilidad del mismo en la toma de decisiones, y han contribuido en forma definitiva a su pérdida de credibilidad. En consecuencia, uno de los roles más importantes del ACR es el de asegurar la provisión de medidas del riesgo aceptables y creíbles, con el fin de reducir la incertidumbre propia del mismo, y permitir una toma de decisiones más objetiva, como parte del proceso de gestión de riesgos

El Rol del Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) en la Gestión de Riesgos

Introducción

En las últimas décadas hemos visto el desarrollo de la industria de procesos (química, petroquímica, gas y petróleo) desde sus primeros días, en los que el peligro principal estaba representado por accidentes con consecuencias muy limitadas y localizadas, hasta nuestros días, en los que esta industria ha introducido una variedad de peligros de accidentes realmente nuevos y masivos. Estos accidentes han, a través de los años, resultado en la pérdida de vidas humanas en el rango de las decenas de miles, así como en catástrofes ambientales, y pérdidas económicas incommensurables.

No obstante, los beneficios que esta industria le ha acarreado a la sociedad son también inmensos. Basta solo con tratar de imaginar una sociedad sin coches, plásticos, u otra innumerable cantidad de productos derivados del petróleo. De esta forma, el objetivo de esta industria es el de proveer a la sociedad de estos beneficios a un coste aceptable para esa sociedad, y que al mismo tiempo permite a la industria ser económicamente viable.

Al mismo tiempo que lo anteriormente relatado ocurría, los aspectos de seguridad de la industria pasaban de ser gobernados, en los primeros tiempos, por un conjunto de reglas estrictas, y con un enfoque típico de seguridad industrial, a estar basados casi exclusivamente en el análisis y evaluación de los riesgos, y con un enfoque basado en la escala, profundidad y avances de la tecnología. Esos conjuntos de reglas rígidas regulaban desde la distancia segura de separación entre dos equipos, pasando por la altura de una chimenea de venteo, hasta la cantidad y ubicación de detectores de gas a instalar en una planta.

Fue en los años 70 cuando germinó una nueva forma de pensamiento en el tema. Esta forma distinta de ver el riesgo se basó, en lugar de la aplicación de reglas estrictas, rígidas y en forma prescriptiva, en tomar en cuenta las condiciones específicas de una instalación, evaluando cada riesgo de forma individual, y reduciéndolo hasta un nivel tal que es considerado tan bajo como razonablemente práctico, o ALARP (As Low As Reasonably Practical). Este desarrollo se basó en la premisa de que el control de los riesgos tecnológicos solo era posible a través de un sistema de gerencia de riesgos adaptado a la importancia de los mismos, y que además permitiese el análisis y control de estos riesgos tecnológicos, antes de que los mismos se manifestasen en la práctica. Es obvio que el concepto de ALARP permite una mayor flexibilidad de las instalaciones, y potencialmente mayor eficiencia que la adhesión a ese conjunto de reglas rígidas. Permite también una mejor introducción de las más recientes mejores prácticas y mejoras, dado que es mucho más sencillo actualizar guías y lineamientos de lo que constituye un conjunto de mejores prácticas, que actualizar un conjunto de reglas estrictas.

El desarrollo de la industria, así como el de la gestión de riesgos, han venido aparejados con un ambiente operacional que podemos llamar moderno, en donde los gobiernos, los medios, y el público en general, son cada vez más conscientes y a la vez están cada vez más preocupados que nunca acerca de la seguridad. En consecuencia, las empresas en general, y los gerentes en particular, se ven abocados a tomar decisiones cada vez más duras y difíciles, acerca de los riesgos. Estas decisiones están relacionadas fundamentalmente con aspectos tales como:

Tolerabilidad de los riesgos, o en otros términos “¿cuán seguro es suficientemente seguro?”

Diligencia Debida, o “¿cuál es el precio adecuado a pagar por la seguridad?”

Gestión del Riesgo, o “¿cuáles son las opciones para reducir el riesgo?”

Gestión Inteligente, o “¿cuál es la solución óptima considerando el coste?”

Desarrollo del ACR

Como es obvio, el desarrollo anteriormente relatado, trajo como consecuencia que en las últimas 3 décadas también se haya visto un desarrollo profundo y constante del ACR como herramienta fundamental para la toma de decisiones basadas en riesgo. En este sentido, las herramientas disponibles para gestionar el riesgo han avanzado considerablemente en estas últimas décadas. Hoy en día estamos en capacidad de estimar diversas medidas del riesgo postulando una serie de eventos de fallo creíbles, cuyas consecuencias y frecuencia son estimadas mediante el uso de modelos matemáticos altamente sofisticados. Estos modelos permiten estimar desde las tasas de descarga de productos peligrosos a la atmosfera, hasta el impacto de los mismos en las personas, medio ambiente y equipos, pasando por la dispersión de esos productos peligrosos en la atmósfera circundante.

Una vez estimados los factores antes mencionados, igualmente se dispone de otros modelos matemáticos también altamente sofisticados, para estimar el riesgo. Una vez estimadas las diversas medidas del riesgo, es fácil determinar, en caso necesario, las medidas de control de los mismos. En algunas circunstancias, la determinación de las medidas de control conlleva la ejecución de un Análisis Coste-Beneficio, cuyo objetivo principal es reducir los riesgos hasta un nivel tolerable.

Este desarrollo del ACR nos permite hoy en día desarrollar la información de apoyo, criterios, etc. Necesarios para que se consideren y apliquen cuatro vías distintas para una efectiva selección de las medidas de reducción y control de riesgos. Estas son:

Eliminación. Se establecen medidas para eliminar el riesgo de una forma completa, por ejemplo se cambia la tecnología de la instalación.

Reducción. Se implantan controles para reducir el riesgo a niveles de tolerabilidad (normalmente requiere una combinación de medidas administrativas y de ingeniería), por ejemplo, espaciamiento entre equipos, mejoras al sistema de ventilación de una sala de control

Aceptación. La dirección de la empresa determina que el riesgo es tolerable, normalmente basados en una evaluación cualitativa, o cuantitativa del mismo.

Transferencia. El riesgo es transferido a otros, por ejemplo, el riesgo es asegurado.

No obstante, y a pesar de todo este desarrollo, aun hoy en día no hay un entendimiento completo, o puesto de otra forma, no existe un marco común de referencia, aceptado por toda la industria, sobre lo que es análisis de riesgos, evaluación de riesgos, gestión de riesgos, e incluso ACR. Estos términos son usualmente confundidos entre si, y generalmente usados sin conocimiento de su significado real, no solo por personas ajenas al tema, sino que también, desafortunadamente, por los considerados expertos en la materia. Esto ha creado un ambiente de confusión, e incluso de mitología, alrededor del ACR, lo cual ha conllevado a todo tipo de situaciones indeseables, desde la falta de aplicación, hasta el escepticismo sobre la fiabilidad de sus resultados, pasando por la mala praxis y la manipulación de resultados.

Terminología

Esta sección trata de aclarar un poco la confusión existente en el tema de gestión de riesgos. Para ello se presentan una serie de definiciones de los términos mas comúnmente usados.

La primera confusión que es necesario aclarar es la diferencia entre riesgo y peligro. En este contexto, el peligro está referido a una fuente potencial de daño, o una situación con potencial

El Rol del Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) en la Gestión de Riesgos

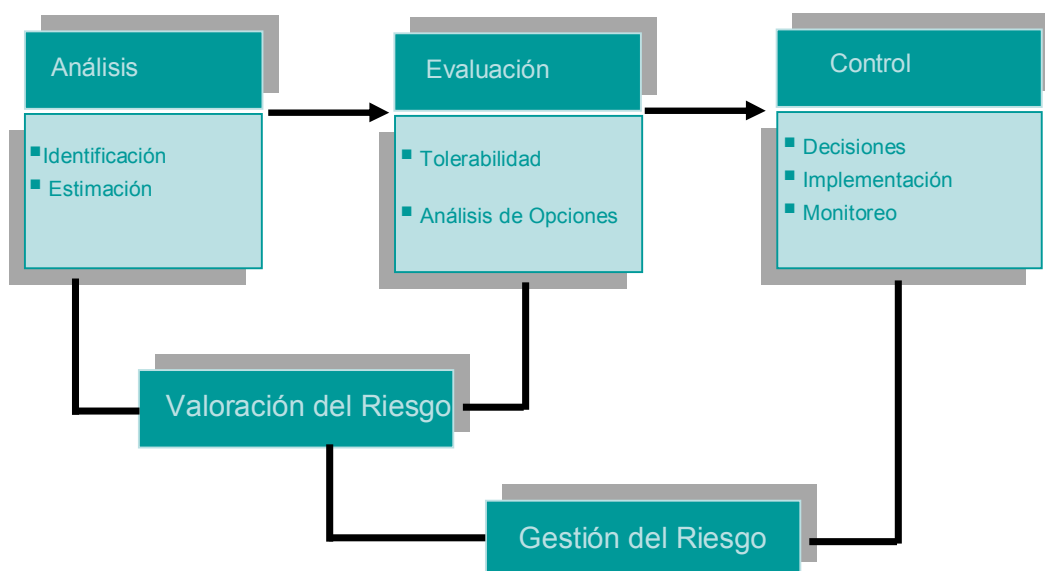
de daño, mientras que el riesgo está definido por la combinación de la frecuencia de ocurrencia y las consecuencias de un evento peligroso específico.

La segunda distinción importante a tomar en cuenta es la diferencia entre análisis y valoración. La valoración de un riesgo implica la determinación de la magnitud, o importancia relativa de dicho riesgo. Análisis por otro lado, envuelve la división de un todo en sus partes, con lo cual el análisis de un riesgo conlleva la división del riesgo en sus distintos escenarios de accidente, incluyendo sus frecuencias y consecuencias específicas a cada escenario. Es obvio que la valoración del riesgo requiere de un análisis y evaluación de riesgos previa, de lo contrario no tendría sentido.

Una vez hecha la valoración de un riesgo, la siguiente etapa consiste en establecer las medidas de control, que no es más que un proceso de toma de decisiones para gestionar y/o reducir los riesgos, su implantación, y re-valoración periódica, usando los resultados de una valoración de riesgos como fuente de información.

El proceso completo desde el análisis del riesgo hasta el establecimiento de las medidas de control es lo que se conoce como gestión de riesgos. De forma tal que la gestión de riesgos no es más que la aplicación sistemática de procedimientos, prácticas, y políticas gerenciales a las tareas de analizar, valorar y controlar los riesgos. La figura 1 pretende mostrar un esquema gráfico del proceso de gestión de riesgos.

Figura 1. Valoración y Gestión de Riesgos



Que es un ACR?

¿Que entendemos entonces por un ACR? En realidad, un proceso formal de ACR trata de responder las siguientes preguntas:

¿Qué puede salir mal?

¿Con qué frecuencia?

¿Con qué consecuencias?

¿Es aceptable el riesgo?

En este contexto, se puede definir un ACR como el proceso a través del cual se obtienen estimados de la posibilidad de fatalidades (bien dentro de los trabajadores de una instalación, o del público en general, o ambos).

Esta posibilidad de fatalidades se expresa a través de una serie de medidas de riesgo diferentes, pero relacionadas entre si. Así, para poder entender e interpretar de una forma completa el riesgo de una instalación determinada, se requiere la estimación y análisis de todas estas medidas de riesgo. Estas medidas son las siguientes:

Riesgo Individual Específico de una Localización.

Conocido por sus siglas en inglés *LSIR* (Location Specific Individual Risk). El LSIR provee una medida del peligro inherente asociado a distintas localizaciones geográficas dentro de una planta o instalación. El cálculo del LSIR está basado en la premisa de que cada localización geográfica considerada, está permanentemente habitada por un individuo. Típicamente, el LSIR es estimado en los puntos de una malla ortogonal que cubre el área de interés. Los riesgos estimados son presentados en forma de curvas o contornos de iso-riesgo de fácil comprensión. Dichos contornos de riesgo indican la magnitud potencial (o intensidad) del riesgo, pero el riesgo solo se materializa en una localización determinada si hay personas presentes en la misma, y permanecen allí durante un tiempo suficiente.

LSIR solo incluye aquellas fuentes de riesgo que provienen de una localización fija, por lo tanto no incluye riesgos tales como transporte, u ocupacionales.

Riesgo Individual.

Conocido por sus siglas en inglés *IR* (Individual Risk), o también *IRPA* (Individual Risk Per Annum). El IRPA se determina en una base de caso por caso para cada individuo que trabaja en una instalación. No obstante, en la práctica no hay suficiente definición de los datos que determinan la exposición y las localizaciones en las cuales los individuos son expuestos, los cálculos del IRPA se efectúan para grupos representativos de trabajadores, antes que para cada individuo.

La contribución del proceso industrial al IRPA de cada grupo representativo de trabajadores se estima en base a un promedio ponderado de los valores del LSIR determinados en cada localización donde el grupo representativo pasará un cierto tiempo. Se consideran en este caso las contribuciones al riesgo de factores tales como el transporte y los riesgos ocupacionales. En aquellos casos en los que el personal permanece en la instalación durante sus horas libres, se contabiliza este riesgo adicional dentro del IRPA.

El Rol del Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) en la Gestión de Riesgos

Pérdida Potencial de Vidas.

Conocido por sus siglas en inglés *PLL* (Potential Loss of Life). El PLL se deriva de los estimados del IR de los grupos representativos de trabajadores. El PLL para un grupo cualquiera se estima como el producto del IR del grupo y la cantidad de miembros del grupo. Cuando se utilizan turnos diurnos y nocturnos, ambos contribuyen al PLL. De igual forma se consideran las rotaciones.

El PLL puede ser evaluado en términos de fatalidades por año, pero también puede ser expresado en términos de fatalidades totales sobre la vida útil de diseño de la instalación. Cuando se requiere conocer la diferencia entre dos opciones de diseño (por ejemplo como parte de un estudio de demostración de ALARP), la evaluación se hace normalmente tomando la vida útil de la instalación debido a que esto facilita los cálculos de coste-beneficio.

Riesgo Social.

Conocido por sus siglas en inglés *SR* (Societal Risk), o también *F-N Curves* (Cumulative Frequency vs. Number of Fatalities). Una curva F-N grafica la frecuencia acumulada (F) de los eventos que resultan en N o mas fatalidades, contra N. Debido a la forma en que se define la curva, el máximo valor de F corresponde al valor mas pequeño de N, y viceversa. Por lo tanto F es una función decreciente de N. La curva F-N provee información relativa a la distribución del riesgo entre eventos que resultan en cantidades pequeñas de fatalidades, y eventos que resultan en cantidades grandes de fatalidades.

Cálculo de las Medidas de Riesgo

Esta sección provee un breve resumen de los cálculos de riesgo llevados a cabo en un ACR típico. Es importante hacer notar que esta sección no aborda temas más complejos como por ejemplo análisis de efectos físicos (consecuencias), análisis de vulnerabilidad, etc.

A manera de advertencia, es importante mencionar que es indispensable definir claramente las medidas de riesgo a ser estimadas en un proceso de gestión de riesgos que incluye una evaluación cuantitativa de dicho riesgos. Cuando se comparan riesgos de distintas instalaciones, o distintas opciones de diseño, es esencial, para que la comparación tenga sentido, que los riesgos sean calculados en la misma base. Similarmente, si el proceso de gestión de riesgos utiliza lineamientos cuantitativos, incluyendo un criterio cuantitativo de tolerancia de riesgos, dichos lineamientos deben definir claramente las medidas de riesgo a utilizar, y el procedimiento de cálculo a usar para la estimación de las medidas que serán comparadas con el criterio de tolerancia. Si esto no se cumple, solo se creará confusión y resultados muy poco fiables.

Teniendo en mente lo dicho anteriormente, pasemos a dar una visión general de las bases de cálculo para la determinación de las distintas medidas de riesgo.

Eventos Iniciadores

Un ACR típico considera una gran cantidad de eventos iniciadores, cada uno de los cuales tiene el potencial de originar varios resultados posibles. Cada evento iniciador tiene una frecuencia asociada. Esta frecuencia puede ser un dato de entrada directa al análisis (por

El Rol del Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) en la Gestión de Riesgos

ejemplo, la frecuencia de ruptura de una tubería obtenida directamente de una base de datos apropiada), o puede a su vez provenir de un análisis previo, tal como un estudio de árbol de fallos. Dentro de un ACR todas las frecuencias de los eventos iniciadores deben ser expresadas en una base de tiempo común, normalmente eventos por año.

Árbol de Eventos

Un evento iniciador cualquiera, siguiendo muchas vías distintas, a su vez puede crear muchos escenarios de accidentes distintos. Estos diversos escenarios y vías de ocurrencia se representan a través de un árbol de eventos.

El tamaño y la complejidad del árbol de eventos usados para representar los distintos escenarios dependen de la preferencia del analista. Así por ejemplo, el tamaño de la descarga y las condiciones meteorológicas durante la descarga, pueden ser tratados como nodos en el árbol de eventos (originando un gran árbol y menos eventos iniciadores), o alternatively, pueden ser tratados de forma que originen múltiples eventos iniciadores (produciendo árboles más pequeños y mayor cantidad de eventos iniciadores).

Típicamente, entre los nodos considerados en un árbol de eventos para un evento de descarga no tóxica, se incluyen los siguientes:

Detección de la descarga

Aislamiento de la descarga

Reducción de presión en el sistema (blowdown)

Ignición inmediata

Ignición retardada

Explosión

Los tres primeros nodos de la lista determinan el tamaño y duración de la descarga, y por lo tanto determinan la magnitud de las consecuencias. Las últimas tres determinan el tipo de consecuencias que ocurrirán (dispersión segura, chorro de fuego (jet fire), fogonazo (flash fire), o explosión).

Cada punto final del árbol de eventos representa un resultado distinto originado por el evento iniciador, en otras palabras representa un escenario de accidente distinto. A su vez cada punto final (escenario) tiene una frecuencia asociada, determinada por el producto de la frecuencia del evento iniciador y las diferentes probabilidades de los nodos que unidos dan origen al escenario en cuestión.

En cada nodo de un árbol de eventos, las probabilidades de las distintas ramas del árbol siempre suman uno. En consecuencia, la sumatoria de las frecuencias de todos los escenarios es siempre igual a la frecuencia del evento iniciador. En notación matemática este hecho se puede resumir así:

Frecuencia del evento iniciador i de n :

$$\phi_i$$

Probabilidad del resultado del árbol de eventos j de m :

$$\pi_j \left(\sum_{j=1}^{j=m} \pi_j = 1 \right)$$

Frecuencia del resultado del árbol de eventos j dado el evento iniciador i : $f_{i,j} = \phi_i \times \pi_j$

Probabilidad de Fatalidades

Cada escenario de accidente obtenido en el árbol de eventos está asociado a una consecuencia distinta. Estas consecuencias a su vez poseen diferentes probabilidades de causar fatalidades a personas situadas en lugares específicos con respecto a la localización del evento iniciador. El cálculo de las probabilidades de fatalidades se efectúa normalmente en dos etapas. Se utiliza en primer término un modelo matemático de efectos físicos para evaluar la medida correspondiente (por ejemplo, flujo de radiación térmica, o sobre-presión). La segunda etapa consiste en calcular la probabilidad de fatalidades en una localización específica.

Suponiendo que el evento i ocurre en la localización (x_i, y_i, z_i) , entonces para el resultado j^{th} del árbol de eventos y la localización objetivo k^{th} (x_k, y_k, z_k) , se puede definir una probabilidad

El Rol del Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) en la Gestión de Riesgos

de fatalidad ($p_{i,j,k}$), la cual representa la probabilidad que el resultado j del árbol de eventos para el evento iniciador i resultará en una fatalidad en la localización k . En general, se puede definir $p_{i,j,k}$ como una función de las localizaciones de la fuente y objetivo del evento iniciador y del resultado del árbol de eventos, con lo cual: $p_{i,j,k} = \text{fat}(x_i, y_i, z_i, x_k, y_k, z_k, i, j)$

Potencial de Fatalidades Múltiples

La cantidad de fatalidades que pueden ocurrir en la localización objetivo k^{th} debido al evento iniciador i^{th} y al árbol de eventos j^{th} está dada por el producto de la probabilidad de fatalidades $p_{i,j,k}$ y la cantidad de personas presentes en la localización cuando el evento ocurre, llamémosle v_k . Por lo tanto, la cantidad de fatalidades en el objetivo k debido al resultado j siguiendo al evento iniciador i estará dada por $n_{i,j,k} = p_{i,j,k} \times v_k$. Y su contribución al riesgo estará dada por $r_{i,j,k} = f_{i,j} \times n_{i,j,k} = \phi_i \times \pi_j \times p_{i,j,k} \times v_k$

Medidas del Riesgo

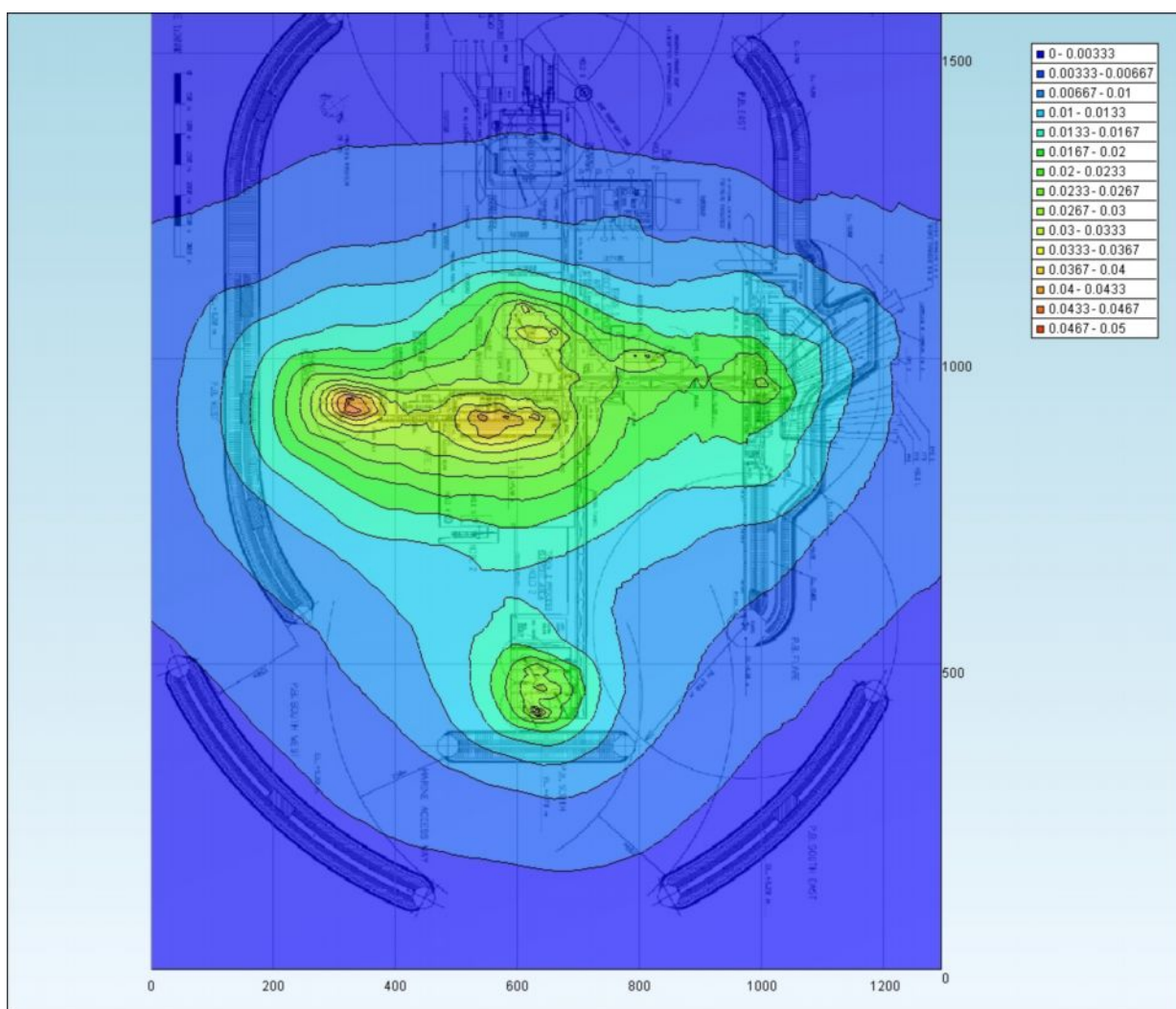
Riesgo Individual Específico de una Localización (LSIR)

El LSIR se determina en todas las localizaciones objetivo que se requiera. En general se incluyen los dos puntos de la malla ortogonal de forma que sirvan de datos para el desarrollo de los contornos de iso-riesgo y de las localizaciones en donde los grupos representativos de trabajadores estarán situados. El LSIR se estima con respecto a un individuo imaginario en cada punto objetivo (ver figura 2), y v_k es por lo tanto igual a 1 para todo k .

El LSIR en el punto (x_k, y_k) está definido por
$$LSIR(x_k, y_k) = \sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=m} \phi_i \times \pi_j \times p_{i,j,k}$$

El Rol del Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) en la Gestión de Riesgos

Figura 2. Ejemplo de un gráfico de contornos de LSIR



Riesgo Individual (IR) (IRPA)

La contribución del proceso industrial al IRPA de cada grupo representativo de trabajadores se calcula como el promedio ponderado de los LSIRs en los sitios receptores en los cuales el grupo de trabajo estará presente. Si el tiempo, expresado como una fracción del año, que el grupo q , de un total de s grupos, pasa en la localización k se le denomina $\omega_{q,k}$, y la cantidad total de localizaciones objetivo está dado por n_i , entonces, la fracción de tiempo que el grupo q pasa en el sitio expuesto al riesgo está dado por $\sum_{k=1}^{k=n_i} \omega_{q,k}$ (normalmente igual a 0.25 para un grupo que rota en tierra firme, y 0.5 para un grupo que rota en costa-afuera).

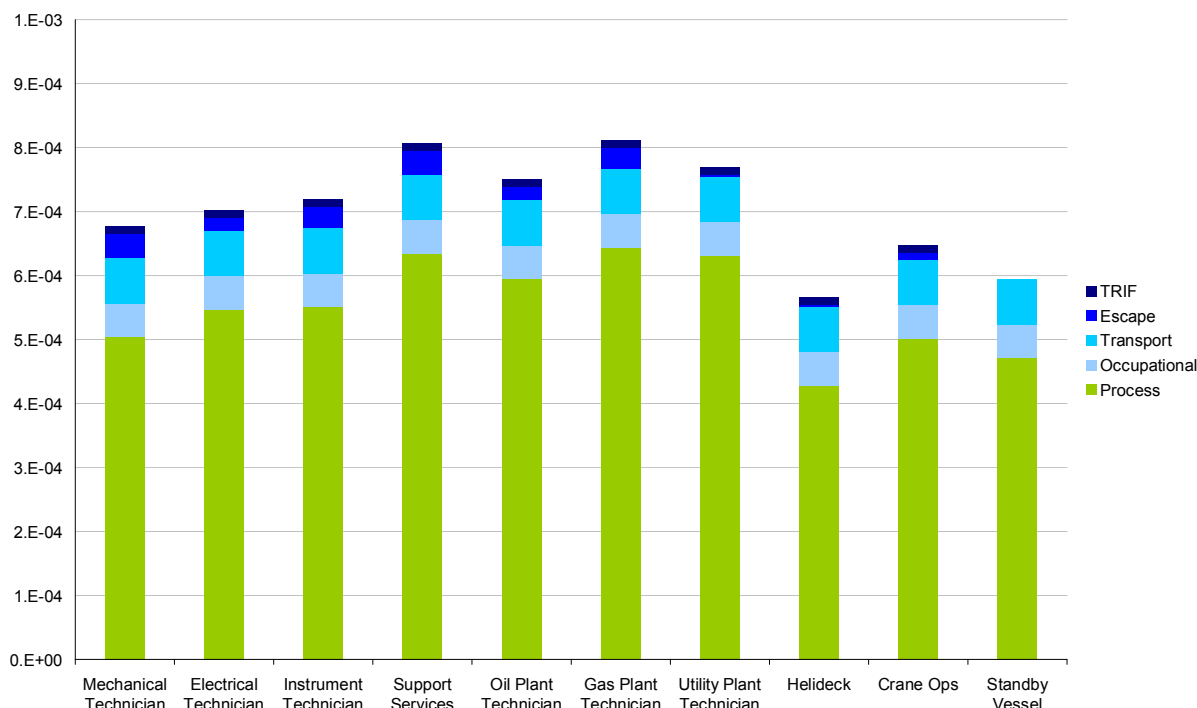
Por otro lado, la contribución del proceso al IRPA de dicho grupo estará dada por:

$$IR_{process}(q) = \sum_{k=1}^{k=n_i} \omega_{q,k} \times LSIR(x_k, y_k)$$

El IRPA total para el grupo estará dado por: $IR(q) = IR_{process}(q) + IR_{Transp.}(q) + IR_{ocupacional}(q)$ (ver figura 3)

El Rol del Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) en la Gestión de Riesgos

Figura 3. Ejemplo de un gráfico de IRPA



Pérdida Potencial de Vidas (PLL)

La contribución al PLL del grupo q estará dada por:

$PLL(q) = IR(q) \times n_{pers,q} \times turno_q \times rotación_q$ Donde $n_{pers,q}$ es la cantidad de personas en el grupo q, $turno_q$ es la cantidad de turnos por día del grupo q, y $rotación_q$ es la cantidad de rotaciones del grupo q

El PLL total en una base de frecuencia anual estará dado por $PLL_{annual} = \sum_{q=1}^{q=n_g} PLL(q)$

El PLL acumulado estará dado por $PLL_{acum.} = PLL_{annual} \times Vida \text{ Útil de Diseño}$

Riesgo Social (Curvas F-N)

Para un conjunto de resultados potenciales de un evento, cada uno de los cuales tiene una frecuencia fr_i y una cantidad asociada de fatalidades nf_i , el par de datos necesarios para la

construcción de la curva F-N están dados por $F = \sum_{\mu=1}^{\mu=n} fr_{\mu} | nf_{\mu} \geq N$

La evaluación del par de datos fr_{μ} , nf_{μ} no es siempre simple. En aquellas circunstancias en las que varios grupos de trabajo pueden ser impactados por un solo evento, es aconsejable considerar la posibilidad de fatalidades simultáneas en múltiples grupos, dado que esto generara un resultado más conservador. No obstante, normalmente en la práctica no hay suficiente información para permitir este análisis.

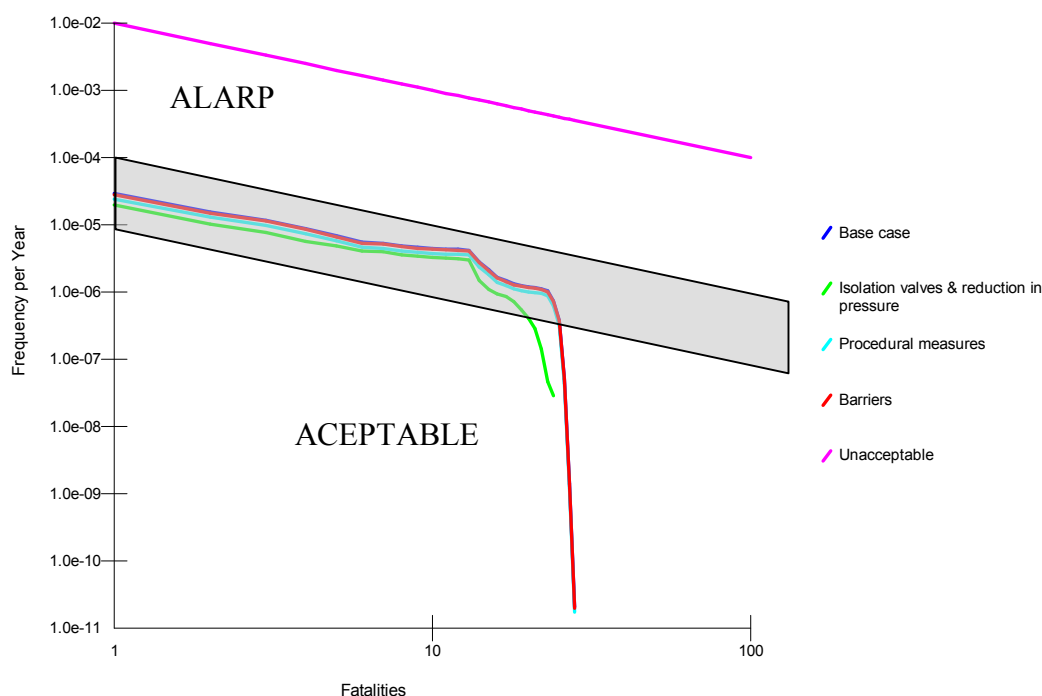
La sección anterior sobre probabilidad de fatalidades nos permite calcular la frecuencia y cantidad de fatalidades en la localización k debidas al resultado j siguiendo al evento iniciador i, de la forma siguiente: $f_{i,j} = \phi_i \times \pi_j$ y $n_{i,j,k} = p_{i,j,k} \times v_k$ respectivamente. Considerando solamente un grupo de trabajadores a la vez, y separando los componentes de frecuencia y cantidad de fatalidades apropiadamente obtenemos: $f_{i,j,k,q} = \phi_i \times \pi_j \times \omega_{q,k} \times turno_q \times rotación_q$ y $n_{i,j,k,q} = p_{i,j,k} \times n_{pers,q}$

El Rol del Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) en la Gestión de Riesgos

A partir de ahí $f_{ij,k,q}$ y $n_{ij,k,q}$ pueden ser sustituidos por fr_{μ} , nf_{μ} para estimar la curva F-N (ver figura 4 para un ejemplo)

El cálculo de las curvas F-N para el público se hace de una manera similar a lo establecido anteriormente.

Figura 4. Ejemplo de un gráfico de curva F-N



Proceso de Elaboración de un Estudio ACR

Elaborar un estudio de ACR implica el manejo de una gran cantidad de datos y modelos con un alto grado de incertidumbre. Por ello, en general, los analistas de riesgos experimentados señalan como buena práctica interpretar los resultados del riesgo en términos comparativos y no en términos absolutos. En algunas circunstancias, por ejemplo para demostrar cumplimiento con estándares basados en desempeño, establecimiento de prioridades en la determinación de medidas de mitigación costo-efectivas, y para comparar los riesgos contra un criterio de tolerancia, puede ser necesario interpretar los resultados del riesgo en términos absolutos, pero esto siempre se debe evitar, y cuando no exista otra opción, debe ser hecho con mucha precaución.

Ya hemos establecido que el riesgo asociado a un evento está definido como el producto de la posibilidad que dicho evento suceda y la magnitud (severidad) del resultado del evento. La posibilidad de que el evento suceda se define en términos de la frecuencia anual de su resultado, mientras que la magnitud del resultado se define como la cantidad de fatalidades causadas por el evento. El riesgo es por tanto el producto de estas dos cantidades y se expresa en fatalidades por año. Es importante tener siempre en mente que el riesgo calculado es lineal con respecto tanto a frecuencia como a cantidad de fatalidades, no obstante, la respuesta a estos eventos por parte del público y la prensa en general presenta una aversión significativa a

El Rol del Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) en la Gestión de Riesgos

accidentes que resultan en múltiples fatalidades. En consecuencia, eventos cuyo riesgo estimado es igual, pueden dar origen a reacciones o impactos en la reputación de la empresa muy diferentes por parte del público y la prensa.

Lo anterior indica a las claras que el riesgo va mucho mas allá de ser el simple producto de frecuencia por consecuencias, es obvio que tiene un componente social muy cargado por los valores individuales, y además por el contexto específico donde se manifiesta, todo lo cual nos hace concluir que el riesgo no es lo mismo para cada persona y depende de la percepción y aversión de cada individuo al mismo. De igual forma, se puede decir que la aversión al riesgo está creciendo día a día avivada por los reguladores y las regulaciones y aún en mayor medida, por los medios de comunicación.

La aversión al riesgo es un factor sumamente importante a la hora de hacer juicios sobre la tolerabilidad de los riesgos, y para tomar decisiones para su control, pero a su vez es un factor que no es fácil incluir, sino imposible, dentro del modelaje matemático para calcular el riesgo. Teniendo en mente los aspectos antes mencionados, veamos cual es en la actualidad considerada como la mejor practica para la elaboración de un estudio de ACR (para un esquema del proceso ver la figura 5).

Información

El primer aspecto a considerar dentro del proceso para llevar a cabo un ACR es el de contar con la información completa y actualizada necesaria para efectuar los cálculos. Si esto no se cumple no tiene ningún sentido proceder con el ACR, puesto que los resultados no serán fiables. La principal documentación requerida para la elaboración de un ACR es la siguiente:

- Legislación, regulaciones, códigos y especificaciones propias del país donde se encuentra la instalación a estudiar.
- Descripción de la instalación, equipo o sistema bajo estudio, incluyendo los P&ID (Diagramas de Tubería e Instrumentación), PFD (Diagramas de Flujo del Proceso) y planos de planta.
- Descripción de las características de inflamabilidad, toxicidad, etc. de cada una de las sustancias usadas en el proceso
- Base de datos a usar para la información de frecuencia de fallas de equipos, accidentes, incidentes, etc.
- Base de datos de las condiciones ambientales del área donde se encuentra la instalación bajo estudio.
- Base de datos especificando claramente la población afectada, tanto personal propio, incluyendo contratistas, como terceros aposentados alrededor de la instalación, incluyendo planos de levantamiento poblacional.
- Criterio de tolerancia de riesgos del país en que se encuentra la instalación y/o de la empresa dueña de la instalación.

Preparación Previa

Una vez que se cuenta con la mejor información posible mencionada en el punto anterior, y con el fin de asegurar la calidad del estudio, es necesario efectuar una etapa de planeamiento. Esta etapa requiere desarrollar los siguientes pasos:

- Definir de forma clara y muy precisa el alcance del estudio y sus limitaciones, así como el propósito del mismo.
- Organizar un equipo de personal con conocimientos contrastados sobre la instalación (y su proceso) bajo estudio y también sobre la metodología de ACR

El Rol del Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) en la Gestión de Riesgos

- Definir claramente los estándares y especificaciones que aplican tanto para el diseño, como para la operación de la instalación.
- Definir claramente los paquetes de software a usar para los cálculos de frecuencia, consecuencias y riesgo, y asegurar que la última versión de los mismos se encuentra disponible para el estudio.
- Definir claramente las suposiciones, criterios, etc. acordados para el estudio, y como serán usados los resultados del mismo.
- Definir de forma clara y precisa el tipo y extensión del estudio de ACR a ser aplicado.

Nota 1: El tipo y la extensión del estudio de ACR deben ser proporcionales a la escala de los riesgos. Es apropiado considerar solo riesgo individual cuando los riesgos tienen el potencial de afectar solamente a individuos aislados, o a un grupo muy reducido de ellos. Similarmente, si los riesgos pueden afectar a mucha gente a la vez, se deberá estudiar, además del riesgo individual, el riesgo social.

Nota 2: El tipo y la extensión del estudio de ACR también dependerán de la etapa de vida en la cual se encuentra la instalación. Mientras menos avanzado esté el proyecto, menor cantidad de información disponible y menos exacta, en consecuencia menor grado de detalle del estudio de ACR.

Elaboración del Estudio de ACR

Ahora ya se puede proceder a elaborar el estudio de ACR. Esta etapa implica efectuar los siguientes pasos:

- Determinar la densidad poblacional tanto dentro de la instalación (personal propio), como en los alrededores de la misma (terceros).
- Desarrollar un estudio de HAZID para estudiar el proceso y sus sistemas de control y protección, de forma de identificar y analizar todos los peligros y eventos de liberación de sustancias peligrosas a la atmósfera.
- Usando la técnica de Árbol de Eventos (ETA) y a partir de los eventos de liberación de sustancias peligrosas identificados anteriormente, definir todos los posibles escenarios creíbles de accidente, tales como BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion), nubes tóxicas, nubes de sustancias inflamables, VCE (Vapour Cloud Explosion), etc.
- Basados en la información del punto anterior, determinar la frecuencia de ocurrencia de cada uno de los escenarios de accidente.
- Usando las ecuaciones Probit, determinar las dosis equivalentes de fatalidad para cada uno de los peligros (sobre-presión, radiación térmica y toxicidad).

Nota: Una ecuación Probit define la correlación entre la probabilidad de fatalidad y la dosis de un peligro particular (sobre-presión, radiación térmica, toxicidad)

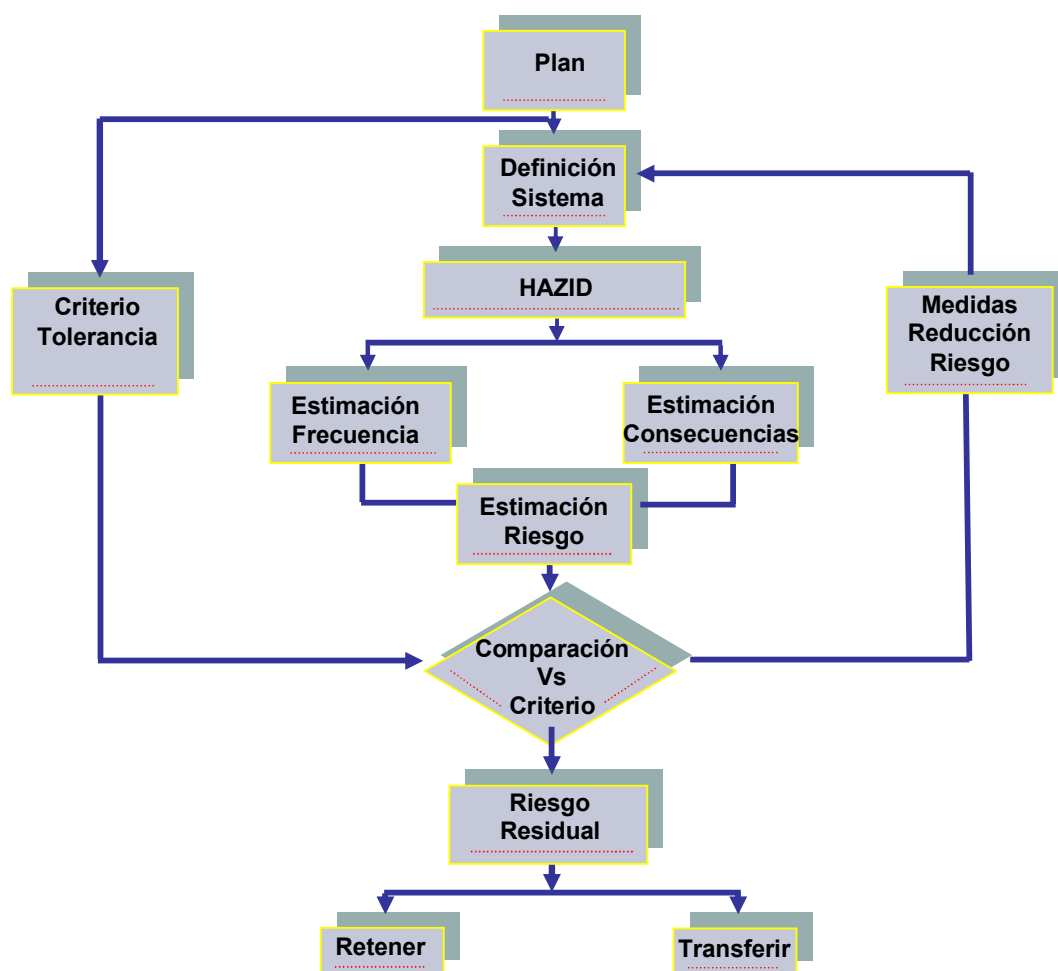
- Modelar cada uno de los escenarios de accidente para cada dosis equivalente correspondiente, de forma de determinar el área de afectación producida por cada uno de ellos.
- Usando la información desarrollada, determinar el riesgo en términos de las medidas de riesgo mencionadas en secciones anteriores (LSIR, IRPA, Curvas F-N, y PLL).
- Realizar los análisis de sensibilidad necesarios para definir las incertidumbres existentes en el proceso del cálculo del riesgo y sus causas y asegurar la calidad y exactitud de los resultados.
- Realizar un análisis de la importancia de cada uno de los factores contribuyentes al riesgo y efectuar una jerarquización de los mismos.

El Rol del Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) en la Gestión de Riesgos

- En la medida de lo posible, presentar los resultados gráficamente (ver figuras 2, 3, y 4), para las distintas medidas de riesgo LSIR, IRPA, y curvas F-N. Los resultados del PLL se deben presentar en forma de tabla.
- Documentar todas las suposiciones, información, modelos utilizados, y en general toda la metodología usada y las fuentes de donde provienen.

Hasta aquí se ha descrito como preparar un estudio típico de ACR. Para poder valorar esos riesgos y establecer medidas de control de los mismos, se debe proceder con la siguiente etapa descrita en la sección que sigue.

Figura 5. Esquema del proceso de gestión de riesgos



Proceso de Valoración del Riesgo

Una vez determinadas las medidas del riesgo, y con el fin de demostrar que los mismos son tan bajos como razonablemente posible (ALARP), y cumplen con los criterios de tolerancia de riesgos del país en el que se encuentra la instalación bajo estudio, es necesario proceder a valorar dichos riesgos.

Al igual que el proceso de estimación de riesgos, el proceso de toma de decisiones que envuelve valorar los riesgos, también presenta una cierta incertidumbre. En este caso la incertidumbre está representada por el hecho de que la tolerancia de riesgos está siempre referida a la disposición (individual o de un grupo, sociedad, etc.) a vivir con ciertos riesgos, que son percibidos como aceptables y controlados, con el fin de obtener beneficios. La incertidumbre surge por el hecho de que, aunque en promedio un riesgo dado, puede ser mínimo, o tolerable, puede ocurrir que bajo ciertas circunstancias muy improbables exista una posibilidad de que dicho riesgo alcance un nivel intolerable. Esta posibilidad puede llegar a ser preocupante para quien toma las decisiones, y debe ser mantenida siempre en mente por el analista, especialmente en términos de como impacta la mitigación y distribución de los riesgos.

Para tratar de solventar esta incertidumbre, es necesario lograr que cualquiera sea la actividad peligrosa que está bajo estudio, ésta no imponga un nivel de riesgo que sea desproporcionado con respecto a los beneficios (económicos, sociales, etc.) obtenidos de dicha actividad. Adicionalmente, idealmente tales riesgos deberían estar equitativamente distribuidos entre la sociedad en proporción a los beneficios percibidos. En la práctica no es posible lograr esta distribución, pero sí es posible tratar de establecer un criterio de tolerancia del riesgo que permita tanto al analista como a quienes toman las decisiones, determinar el nivel de aceptación y distribución de los riesgos. Este criterio de tolerancia debe constituir un marco de referencia para la toma de decisiones y debe ser lo mas flexible posible. Normalmente, esta conformado por tres bandas (ver figura 6), cada una de las cuales ofrece una indicación de lo siguiente:

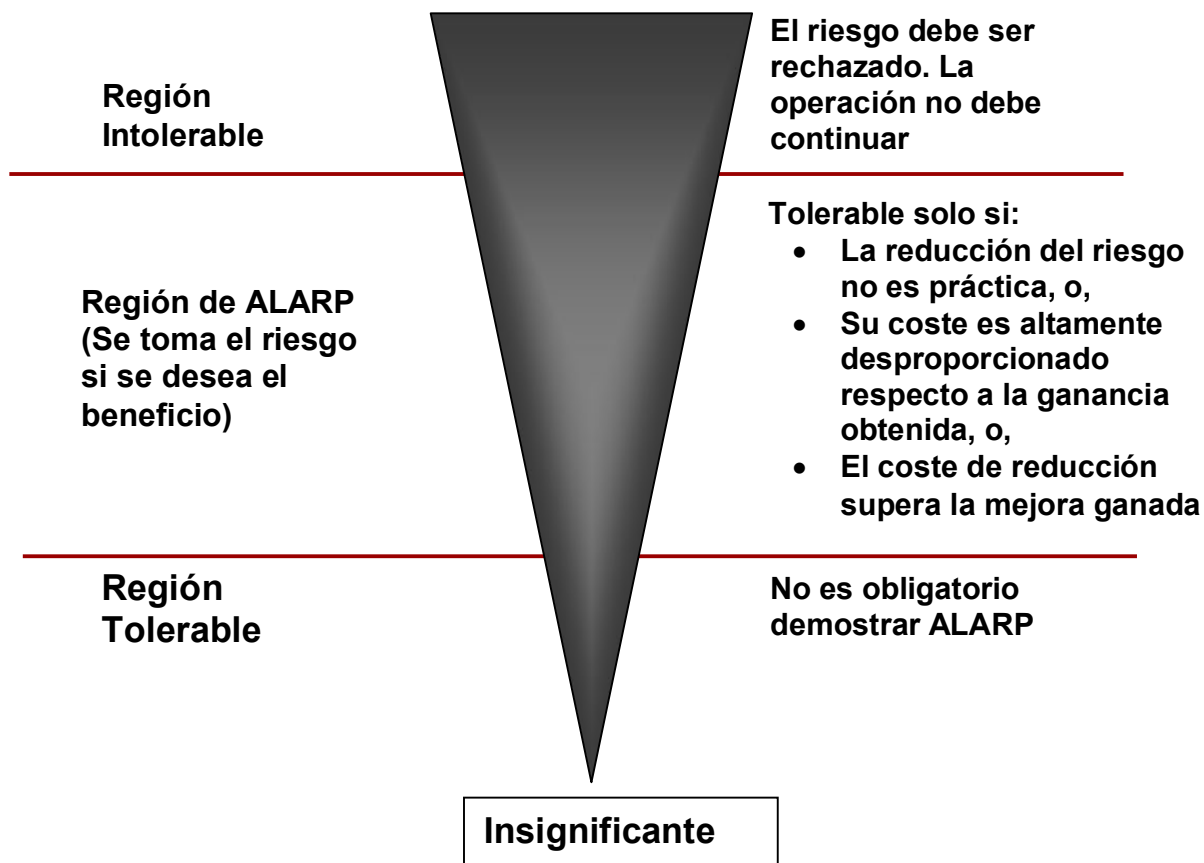
- a. *Cuando el riesgo es tan desproporcionadamente grande, o sus consecuencias son tan inaceptables, que debe ser rechazado.*
- b. *Cuando los riesgos son, o han sido reducidos a un nivel aceptable, de forma que no es necesario establecer medidas de control adicionales.*
- c. *Cuando el riesgo cae entre las dos bandas anteriormente mencionadas, es decir, ha sido reducido al nivel mas bajo posible en la práctica, considerando los costes de las medidas de reducción y los beneficios que acarreará la actividad que los produce*
- d. *Cuando el riesgo es insignificante. En la práctica es utópico pensar en encontrar un riesgo que caiga en esta banda, por lo cual puede ser ignorado. Se menciona solamente para efectos de consistencia.*

Por otro lado, el proceso de determinación de tolerancia, distribución y reducción adecuadas de los riesgos, debe estar apoyado en los principios fundamentales siguientes:

- i. *Los riesgos nunca deben ser impuestos de forma innecesaria*
- ii. *Ninguna persona o comunidad de personas debe estar expuesto a una proporción injusta del riesgo.*

El Rol del Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) en la Gestión de Riesgos

Figura 6. Tolerancia de Riesgos



Proceso de Determinación de las Medidas de Control del Riesgo

Los principios y premisas establecidos anteriormente nos permiten sacar las conclusiones más adecuadas y razonables en cuanto a la valoración y por ende en cuanto a la tolerabilidad de los riesgos. Pero aún falta por cumplir un paso muy importante como lo es el de establecer las medidas de control.

Durante el proceso de determinar las medidas de control del riesgo más adecuadas, es necesario tener en mente las preguntas que nos hicimos al principio de este artículo, a saber:

- ¿Cuán seguro es suficientemente seguro?
- ¿Cuál es el precio adecuado a pagar por la seguridad?
- ¿Cuáles son las opciones para reducir el riesgo?"
- ¿Cuál es la solución óptima considerando el coste?"

Solamente una contestación clara y precisa de estas preguntas nos permite asegurar la utilización de medidas de control del riesgo óptimas, y por ende, realizar una gestión adecuada del mismo. El enfoque tradicional para responder a estas preguntas ha sido el de añadir

El Rol del Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) en la Gestión de Riesgos

sistemas de protección para reducir el riesgo. Desafortunadamente, la experiencia obtenida a través de varios accidentes catastróficos ocurridos en el pasado, ha demostrado que aún los sistemas de protección más elaborados y sofisticados pueden fallar y fallan. Este hecho ha llevado a una evolución del enfoque en el tema de reducción de riesgos, dirigiéndolo hacia el control del peligro en su fuente más que hacia el riesgo mismo.

En este sentido, las mejores prácticas en el tema de reducción de riesgos hoy en día requieren que se analicen en primer término las opciones para eliminar o reducir el peligro en su fuente, llevando a cabo cambios fundamentales en el proceso industrial mismo. Se utilizan cuatro estrategias principales en este enfoque que pertenecen a los dominios de la Seguridad Intrínseca, a saber:

Sustitución. Reemplazar la sustancia peligrosa usada en el proceso por otra menos peligrosa

Minimización. Usar menos cantidad de la sustancia peligrosa

Mitigación. Reducir las condiciones de operación

Simplificación. Eliminar etapas innecesarias

La aplicación de estas estrategias reduce la frecuencia y/o consecuencias del peligro directamente en su fuente. Desafortunadamente, no siempre es posible lograr eliminar el peligro en su fuente a través de estas estrategias, o al menos reducirlo hasta un nivel tolerable. Se impone entonces, la aplicación de sistemas de protección para reducir el riesgo. En este caso también se puede y debe aplicar las mismas estrategias de la Seguridad Intrínseca mencionadas anteriormente. Aun cuando los sistemas de protección no son inherentemente seguros en sí mismos, algunos son *inherentemente más seguros* que otros. Así por ejemplo, la protección de estructuras metálicas para soporte de equipos es inherentemente más seguro que el uso de sistemas de aspersión de agua con el mismo propósito. La tabla 1 muestra una categorización de sistemas de protección en términos de su robustez

Tabla 1. Robustez del Sistema de Protección.

Tipo de Sistema de Protección	Robustez
Intrínsecamente Seguro	Muy Alta
Pasivo	Alta
Activo	Media
Procedimientos	Baja

Otro aspecto importante a tratar en el proceso de determinación de las medidas de reducción del riesgo es el de cuáles medidas aplicar en cada caso dependiendo del nivel de tolerabilidad del riesgo, y el papel que juega el Análisis Coste-Beneficio (ACB) en este proceso. La tabla 2 presenta un resumen de este aspecto.

El Rol del Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) en la Gestión de Riesgos

Tabla 2- Aplicación de Medidas de Control de Riesgos

Tolerabilidad	Medidas de Control
Región Intolerable	Riesgo debe ser reducido a cualquier coste usando medidas intrínsecamente seguras y sistemas de protección pasivos o activos. De otra forma la actividad debe ser prohibida.
Región ALARP	Riesgo debe ser reducido por medio de la incorporación de medidas de protección basadas en su costo-efectividad. Aplicación de ACB y ALARP
Región Tolerable	Reducción adicional del riesgo a través de medidas administrativas (procedimentales), y gestionar el mejoramiento continuo. Posible aplicación de ACB y ALARP.
Insignificante	No son necesarias medidas de control adicionales. Gestionar el mejoramiento continuo

Cuando sea necesario, es decir en aquellos casos en el riesgo se encuentra en la región de ALARP, o en la de riesgo tolerable, se debe aplicar un estudio de ACB para determinar las medidas de reducción más costo-eficientes, teniendo en mente que un ACB no puede ser el único argumento para la toma de decisiones. En muchos casos, la toma de decisiones sobre medidas de reducción, no requiere la aplicación de un ACB en toda regla, una simple comparación de los costes contra los beneficios puede ser suficiente.

Es importante tener en mente que el ACB no debe ser aplicado a aquellos riesgos que se encuentren en la región intolerable. En estos casos el riesgo simplemente tiene que ser reducido a cualquier coste, o de lo contrario la actividad debe cesar.

Por otro lado, las medidas administrativas, o procedimentales, solo deben ser consideradas cuando el riesgo se encuentre en las regiones de ALARP o de riesgo tolerable.

Una vez estudiados los riesgos y tomadas las medidas de control óptimas en la forma establecida hasta este momento, aun quedará siempre un riesgo remanente, puesto que es técnica y económicamente imposible eliminar por completo todos los riesgos de una actividad cualquiera. Este riesgo remanente se conoce como riesgo residual (ver figura 5), y es el riesgo que o bien se retiene (auto-seguro), o se asegura con un tercero, es decir, se transfiere. Así pues se puede decir que el riesgo residual es aquel riesgo que queda remanente después de haber aplicado los debidos controles a los peligros que han sido identificados, cuantificados, analizados, comunicados y tolerados después de una valoración apropiada. En consecuencia, el riesgo residual incluye aquellos riesgos que:

Han sido aceptados conscientemente

Han sido identificados, pero han sido valorados erróneamente

No han sido identificados

El Rol del Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) en la Gestión de Riesgos

Documentación, Comunicación y Mejoramiento Continuo

Una vez cumplida la etapa anterior, y para asegurar la efectividad y aplicabilidad de los resultados obtenidos, es necesario que el estudio sea documentado y comunicado a todas las partes relacionadas de la alguna forma con la gestión de los riesgos.

La documentación del proceso debe ser actualizada de forma permanente durante toda la vida útil de la instalación bajo estudio. Esta actualización debe ser hecha en función de los cambios de todo tipo que se produzcan en la instalación, y también en función de los avances en las metodologías de cálculo, premisas, etc. del proceso mismo de la gestión de riesgos en general. Así mismo, el estudio de los riesgos no tiene ningún valor práctico si no es comunicado debidamente, tanto a las audiencias internas a la instalación. Como a audiencias externas que puedan estar afectadas por el riesgo. El personal propio de la instalación (incluyendo contratistas y visitantes) debe conocer los riesgos y sus roles y acciones a tomar respecto de los mismos. Las audiencias externas incluyen el público en general afectado por los riesgos y las agencias gubernamentales, sobre todo aquellas que estarían involucradas en un caso de emergencia.

Por último, con el fin de asegurar la sostenibilidad y mejoramiento continuo del proceso en el tiempo, es necesario establecer un sistema de mejoramiento continuo como el se esquematiza en la figura 7.

Figura 7. Esquema del proceso de mejoramiento continuo



Deficiencias en el Proceso de ACR

Un estudio realizado por el Health and Safety Executive (HSE) del Reino Unido (ver referencia No. 10), ha detectado una serie de deficiencias que se han cometido y se siguen cometiendo a través del tiempo, en la aplicación del ACR. Estas deficiencias son las que han contribuido de forma determinante a todo tipo de situaciones indeseables, desde la falta de aplicación, hasta el escepticismo sobre la fiabilidad de sus resultados, pasando por la mala praxis y la manipulación de resultados.

Para aquellos interesados en el tema es altamente recomendable hacer una revisión del informe de la referencia No. 10, no obstante, a continuación se presenta un resumen de las deficiencias más importantes en la opinión del autor:

Manipular los resultados para justificar las decisiones deseadas
No acoplar las medidas de reducción del riesgo a los peligros
Usar modelos de cálculo y datos irreales, o poco precisos
Ignorar la incertidumbre envuelta en el proceso del ACR
No utilizar un equipo para llevar a cabo el análisis, ni involucrar personal con conocimiento práctico de la actividad, operación o instalación bajo estudio

Conclusiones.

Visto todo lo anterior, ¿qué podemos concluir acerca del rol del ACR en la gestión de riesgos? La primera conclusión que se viene a la mente es que el proceso de gestión de riesgos, apoyado en un adecuado proceso de ACR, es el punto de inicio para asegurar la integridad de las instalaciones y equipos y operaciones seguras.

También es evidente que el proceso de aplicación del ACR está menoscabado por una serie de deficiencias que comprometen seriamente la utilidad del mismo en la toma de decisiones, y que han contribuido en forma definitiva a su pérdida de credibilidad. En consecuencia, uno de los roles más importantes del ACR es el de asegurar la provisión de medidas del riesgo aceptables y creíbles, con el fin de reducir la incertidumbre propia del mismo, y permitir una toma de decisiones más objetiva, como parte del proceso de gestión de riesgos.

El ACR es igualmente una herramienta sumamente importante para comparar opciones, dada su capacidad para identificar los principales elementos que contribuyen al riesgo, jerarquizarlos, y establecer la naturaleza e importancia de los mismos, y proveer información objetiva para determinar las medidas de reducción óptimas. Todo esto permite que el ACR facilite la interpretación de los resultados técnicos de forma que puedan ser entendidos por quienes toman las decisiones y por el público en general. De nuevo, este hecho contribuye notoriamente al mejoramiento del sistema de gestión de riesgos.

Por ultimo, tal vez uno de los roles principales del ACR en la gestión de riesgos, ha sido el de apoyar el desplazamiento del enfoque del tratamiento de los riesgos desde una visión meramente de riesgos ocupacionales (manejo de lesiones, daños, etc.), a este enfoque moderno de gerencia de riesgos con énfasis en los riesgos tecnológicos y sus impactos, y con un carácter altamente cuantitativo y predictivo (manejo de riesgo residual, tolerabilidad, etc.).

Bibliografía

1. Crawl, D.A., and Louvar J.F, Chemical Process Safety: Fundamentals with applications, Prentice Hall, New Jersey, 1990
2. Lees F. P, Loss Prevention in the Process Industries: Hazard Identification, Assessment and Control, Edited by Sam Mannan, Butterworth-Heinemann Ltd, 2005, ISBN 0750675551
3. Rodríguez, J.A; Preliminary Major Hazard Analysis of the New Eastern Refinery, The University of Sheffield, Sheffield (U.K.), 1992.
4. J Spouge et al, A Guide to Quantitative Risk Assessment for Offshore Installations, CMPT 1999, ISBN 1 870553 365
5. AIChE/CCPS, "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis", Second Edition, Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, New York, 2000.
6. BSI 8444-3, "Risk Management, Part 3: Guide to Risk Analysis of Technological Systems", British Standards, London, 1996
7. Rodríguez, J. A., Aplicación de Criterios de Tolerancia de Riesgos y Costo-Beneficio en los Estudios de Análisis de Riesgos de la Industria Petrolera y Petroquímica Venezolana, ARPEL, México, 1991.
8. HSE, Quantified Risk Assessment: Its Input to Decision Making. Health and Safety Executive, Her Majesty's Stationery Office, 1989.
9. Carter, D.A. "The Scaled Risk Integral—a Simple Numerical Representation of Case Societal Risk for Land Use Planning in the Vicinity of Major Accident Hazards." 8th International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, Antwerp, 19–23 June 1995
10. Gadd, S. et al, "Good Practice and Pitfalls in Risk Assessment", HSE Research Report 151, Sheffield (UK), 2003
11. British Royal Society, Risk Assessment: A Group Study Report. British Royal Society, London, January 1983
12. Nussey, C., Carter, D. A., and Cassidy, K. "The Application of Consequence Models in Risk Assessment: A Regulator's View." Proceedings International Conference and Workshop on Modelling and Mitigating the Consequences of Accidental Releases of Hazardous Materials, New Orleans, September 26–29 1995. New York: American Institute of Chemical Engineers.
13. NORSOK Standard Z-013, "Risk and Emergency Preparedness Analysis", Norwegian Technology Center, Norway, 2001.
14. Carter, D. A., et al, "Appropriate Risk Assessment Methods for Major Accident Establishments", The Institution of Chemical Engineers, Rugby, 2003.
15. Hurst, N. W. et al, "Development and Application of a Risk Assessment Tool (RISKAT) in the Health and Safety Executive", HSE Technology Division, Bootle (UK), 1989
16. White D. C. "Inherently Safe Design. A Common Sense Approach", Proceedings of Annual Symposium, Mary Kay O'Connor Process Safety Center, Texas A&M University, College Station (USA), 1999.
17. AIChE/CCPS, "Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, Second Edition with Worked Examples". Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1992.
18. IChemE, Nomenclature for Hazard and Risk Assessment in the Process Industries, 2nd Edition. The Institution of Chemical Engineers, UK, 1992
19. Vrijling, J. K., Wessels, J.F.M., van Hengel, W., and Houben. R. J. "What Is Acceptable Risk?" Directoraat General Rijkswaterstaat Report No BSW 93-23

El Rol del Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) en la Gestión de Riesgos

El Autor

Eur. MSc Ing. JOSÉ A. RODRÍGUEZ
S. MSc, CEng, MChemE, MAICHE
Risk Engineering Consultant

SUMMARY AND RELEVANT ACHIEVEMENTS

Over thirty (30) years hands-on experience in process safety and risk control engineering in the international oil and gas industry. Highly experienced in use of design and assessment methods used within discipline, such as Quantitative Risk Assessment (QRA) studies, Safety Integrity Level (SIL) studies, HAZOP studies, Fault Tree Analysis (FTA), Event Tree Analysis (ETA), consequence modeling, and in general all the methodologies and techniques related to the area of risk control engineering. Fully conversant with international standards (API, NFPA, ISA, IEC, etc.) and their application to the design and operation of oil and gas facilities. Highly competent in project safety and design review.

- In the period 1988-1996, I developed over 25 risk engineering codes and procedures all of them included in the PDVSA's Risk Engineering Manual, among others: Risk Tolerability Criteria, QRA Standard, Safety in Design Philosophy, Safety Criteria for the Safe Design of Off-Shore Installations, Risk Tolerability Criteria, Management of Change, Control Buildings Design, Hazardous Area Classification, Cost-Benefit Analysis, etc.
- In 1995, member of the PDVSA team that performed all the technical studies to reduce the annual insurance policy form US\$100 million to US\$ 20 million. My main contribution was represented by the Cost-Benefit-Risk Analysis performed, as well as by the risk engineering codes developed, which supported this decision.
- In the period 1997-2002 as President and owner of CIRCA, I developed this company from an annual revenue of around US\$ 50.000 to over US\$ 2 million, and from 2 employees to 36. Implementation of a grass-root HSE Management System based on OHSAS 18000 and ISO 14000, for Perez Companc, and performance of all the safety studies for the Conceptual and Basic Engineering stages of the Corocoro Project for Conoco-Venezuela, which included QRA, HAZOP, Safety Review, etc, are two of the most relevant projects that I conducted during this period.
- In the period 2003-2007 consultant to the Saudi Aramco Project Management Teams which designed the facilities to upgrade the North Safaniyah, Khursaniyah/Abuhadriyah/Fadhli, North Ghawar and Hawiyah oil and gas fields. In this capacity, I lead the risk studies (including the Safety Integrity Level- SIL- studies) that justified the implementation of High Integrity Protection Systems (HIPS) for piping protection. These efforts ensured the safety of the installations and at the same time contributed to obtain savings around US\$ 300 million in capital investment for the company.
- In my capacity of "Process Owner" for the implementation of a decision-making process based on risk for Saudi Aramco, I have produced and implemented from scratch several technical guides which represent best practices in the area. These are Quantitative and Qualitative Risk Assessment and Safety Integrity Level (SIL). Similarly, I have been appointed as a member of the permanent High Integrity Protection System (HIPS) committee, in charge of developing and implementing the best practices for the design, commissioning, testing and maintenance and modification of HIPS in Saudi Aramco.
- More than 1000 engineers trained during the period 1986-2003. Part time lecturer in the MSc. in Safety Engineering at Zulia University (Venezuela). Author and instructor of a variety of courses in the area of Process Safety, both in Venezuela and in other South America countries such as: Ecuador and Bolivia. Among others: Risk Control Engineering, Safety in Design, Hazardous Area Classification and Safety Audits.

EDUCATION

- Industrial Engineer. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia, 1975.
- MSc. in Process Safety and Loss Prevention. The University of Sheffield. Sheffield, UK, 1992.
- Diploma in Risk Management. Sedgwick LTD. London, UK, 1994.
- Chartered Engineer (CEng) by The Engineering Council, UK, 2005.
- Chartered Engineer (Eur Ing) by The European Federation of National Engineering Associations, 2005
- Over 50 technical and management courses in the risk management area, including:
 - ✓ Loss Control Administration – ILCI (USA)
 - ✓ Loss Control Engineering Course - The University Of Aston (UK)
 - ✓ Hazard Assessment and Reliability Engineering- ICI (UK)
 - ✓ Process Plant Safety and Security – Energy Analysts (USA).

El Rol del Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) en la Gestión de Riesgos

PROFESSIONAL EXPERIENCE

- **August 2007-**
Working in the area of risk engineering as a consultant to several projects for hydrocarbon processing facilities. Performed activities mainly related to organization, leading and technical revision of studies in the areas of risk assessment, HAZOP, SIL, safety in design, and for the development of risk engineering standards. Among others and as an example, Head of Corporate QRA for the AGIP's Kashagan project, in charge of managing all the efforts in QRA matters to support top management decision taking within all the projects.
- **April 2003-July 2007**
Loss Prevention Engineer for Saudi Aramco, in charge of activities related to Risk Control Engineering in the Eastern Province, including, among others, Producing, Refining and Gas Processing operations.
- **November 1997-March 2003**
President of Consultores Integrales en Riesgos, C.A. (CIRCA). Accountable for Risk Engineering consulting activities for PDVSA, PEMEX, REPSOL, among other Oil Companies.
- **September 1996-October 1997**
HSE Manager for British Petroleum (BPV). Accountable for HSE matters and member of BPV Management Team. Among others, I contributed to the development of the HSE Management System, and to the formation of a HSE high performance team
- **March 1988- August 1996.**
Fire Protection Adviser to Petroleos de Venezuela S.A. (PDVSA). Responsible for duties related to Risk Control Engineering and Fire Engineering activities within PDVSA and affiliates, including overseas affiliates in Europe, USA, Curacao, etc. Also responsible for duties related to technical side of the insurance policy.
- **June 1987- March 1988**
Planning Manager, Corpoven S.A. (PDVSA affiliate). Responsible for planning and development of this function within Corpoven.
- **January 1986- June 1987**
Fire Protection Manager, Corpoven S.A. (PDVSA affiliate). Responsible for Risk Assessment and Fire Protection duties to a corporate level within Corpoven.
- **December 1983 - December 1985**
Safety Superintendent, Maraven S.A (PDVSA affiliate), Responsible for Managing Safety within the Oil & Gas Division of Maraven.
- **December 1980 - December 1983**
Safety Engineering Chief, Maraven S.A (PDVSA affiliate), Responsibilities included project review, conceptual engineering of safety and mitigation systems, Technical Safety Audits, HAZOP, QRA, etc. within the Oil & Gas Division of Maraven.
- **January 1977- December 1980**
Safety Engineer, Maraven S.A. (PDVSA affiliate). Training assignments to Oil & Gas production operations, Engineering, with emphasis on conducting industrial safety programs, and safety studies.
- **January 1976-December 1976.**
Industrial Engineer for Envases Metálicos. Responsible for the analysis of the Management System and Industrial Engineering studies.

PUBLICATIONS

- Author of over 150 technical reports, engineering standards, technical guidelines, training courses and papers on Risk Engineering.