

**Aplicación de la legislación sobre  
accidentes graves de origen químico en  
un proyecto industrial**

**Tomás Briñas Martínez**  
Jefe de Departamento de Gestión de Calidad y Seguridad  
Complejo Industrial de Tarragona  
Repsol YPF

## **INDICE**

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Requisitos Legales</b>	<b>7</b>
<b>3. Aplicación a un proyecto</b>	<b>9</b>
<b>4. Conclusiones</b>	<b>19</b>
<b>5. Cuadros</b>	<b>20</b>

## **1. Introducción**

### **La Industria química. Su papel en el mundo socioeconómico actual. Los peligros asociados a su existencia.**

El siglo veinte ha sido testigo de algunas revoluciones, pero sobre todo de grandes evoluciones, en muchos ámbitos de la actividad humana. Ha sido el siglo del colofón del cambio iniciado cientos de años antes, desde una sociedad artesanal a la industrial y de ésta a la tecnológica.

Este cambio ha sido posible, junto a otras causas, al conocimiento de las propiedades de la materia y al aprendizaje de cómo manipularla y transformarla para conseguir otras materias con otras propiedades. Es lo que nos hemos acostumbrado llamar “Ciencia Química”

El paso de “ciencia” a “tecnología aplicada” ha ido acompañado de un crecimiento de las cantidades de las sustancias empleadas para ser transformadas y de la generación de innumerables nuevas sustancias, a un ritmo en muchas ocasiones superior al del conocimiento de las propiedades de los nuevos materiales conseguidos.

De esta evolución no solamente se han obtenido aplicaciones y resuelto problemas no imaginados hace cien años o menos; también han aparecido peligros antes no imaginados.

Sobre estos peligros, también ha sido necesario aprender para que no neutralicen los beneficios que los nuevos materiales conseguidos han aportado a la sociedad actual.

Algo similar, pero con diferencias por otra parte claras, ha ocurrido con la energía nuclear controlada. Industria Química e Industria Nuclear son, hoy día, las fuentes de **riesgos tecnológicos**, así llamados en contraposición a los **riesgos naturales** ante los cuales la humanidad, desde sus orígenes, ha tenido que enfrentarse.

Los métodos que se han desarrollado para evaluar y controlar los riesgos tecnológicos, han contribuido también de forma importante al conocimiento y control de los riesgos naturales.

La economía de escala y la necesidad de reducir los costes fijos y de la energía en la producción de materiales en la industria química, ha conducido a procesos donde se utilizan cantidades muy importantes de sustancias peligrosas y en condiciones que en numerosas ocasiones aumentan su potencial de peligro (Ver cuadro-1).

El conocimiento profundo de la tecnología asociada a los procesos químicos, y las técnicas de identificación de peligros y evaluación de riesgos, hacen posible que en la sociedad actual podamos obtener las ventajas de los avances técnicos sin pagar a cambio el precio, a veces impagable, de las consecuencias de los accidentes.

### **La necesidad de una legislación para prevenir accidentes graves de origen químico, y mitigar sus consecuencias.**

A lo largo de su historia, y en muchos lugares del mundo, la industria química ha registrado accidentes que de acuerdo a los criterios legales actuales, podemos catalogar como graves; es decir, aquéllos que sus consecuencias negativas para las personas, los bienes o el medio ambiente, han ido más allá de los límites del recinto de la propia fábrica donde se han producido.

El de Seveso, ocurrido en 1976 en una planta química de fabricación de pesticidas y herbicidas cercana a la localidad italiana llamada así, es el que ha dado nombre a las Directivas Europeas que pretenden promover y regular la prevención de accidentes graves de origen químico y mitigar sus consecuencias si llegan a producirse.

Pero el accidente de Seveso, no ha sido el único. Nombres como Feyzin , en Francia, San Juanico en Méjico o Bhopal en la India, han recordado, de forma dramática por la pérdida de vidas y bienes, que es necesario controlar la forma de llevar a cabo las actividades de diseño, construcción y explotación de plantas químicas en las que se manejan sustancias peligrosas por encima de un determinado umbral de cantidad, o en unas condiciones de proceso que pueden conducir a consecuencias negativas no admisibles fuera de las propias plantas.

En 1982 la entonces Comunidad Económica Europea adoptó la Directiva del Consejo 82/501/CEE (Directiva Seveso). En 1984 ocurrió el accidente de Bhopal donde una fuga de metil-isocianato causó más de 2500 muertos entre personas que vivían en las inmediaciones de la fábrica, y en 1986 con motivo de un incendio en un almacén de productos químicos en la ciudad suiza de Basilea, el agua empleada para combatirlo se contaminó con mercurio y pesticidas organofosforados, provocando la muerte de medio millón de peces en el Rin.

A la vista de estos y otros accidentes similares, la Directiva Seveso fue modificada parcialmente en dos ocasiones durante 1987 y 1988 para ampliar el alcance y extenderlo a actividades antes no contempladas, como eran las de almacenamiento de productos.

Por último en 1996 se aprobó la Directiva del Consejo 96/82/EC llamada SevesoII. Uno de los principales cambios, no el único significativo e importante, fue la introducción de la exigencia a los industriales de establecer una política de prevención de accidentes graves y un sistema de gestión de seguridad adecuado para desplegar esa política de manera efectiva y eficaz. Este nuevo requisito obedece a las lecciones aprendidas de accidentes ocurridos, en los que ha podido constatarse como causa “raiz” de los mismos la carencia de una política y un sistema de gestión adecuados por parte de los industriales.

El propósito de la SevesoII es doble: Por un lado la prevención de accidentes graves donde estén involucradas sustancias peligrosas; por otro, dado que los accidentes siguen ocurriendo, el propósito es limitar las consecuencias de los mismos teniendo como objeto de protección la comunidad (no sólo las personas, sino también los aspectos ambientales).

### **Metodologías generales para aplicar la legislación sobre accidentes graves de origen químico en instalaciones existentes y en nuevos proyectos.**

Las metodologías básicas deben ser coherentes con los objetivos básicos que persigue la legislación sobre accidentes graves, los mismos independientemente del ámbito europeo, nacional o autonómico en el que los consideremos.

Estos objetivos, como ya se ha expuesto en apartados anteriores son:

- **Prevenir la ocurrencia de accidentes.**
- **Limitar las consecuencias de los accidentes, si llegan a producirse.**

Sin perder de vista en ningún momento lo que se trata de proteger que es la vida y la salud de las personas y la integridad de los bienes y el medio ambiente que pudieran estar afectados.

Por tanto, el método aplicado tiene dos grandes bloques:

- **La identificación de los peligros, el conocimiento de los riesgos asociados a las actividades y la puesta en evidencia de los medios y sistemas necesarios para mantenerlos bajo control.**
- **La planificación de situaciones de emergencia, tanto en el interior de las instalaciones ( autoprotección ) como en el exterior de ellas ( planes de protección civil ).**

Existen aspectos del método que, sin pertenecer claramente a uno u otro bloque , son elementos de unión imprescindibles entre ellos: La información a la población, por un lado fomenta el rigor con el que deben acometerse las actividades preventivas y la forma de documentarlas y comunicarlas y por otro es una herramienta determinante del éxito en la resolución de una situación de emergencia.

La planificación del uso del territorio próximo y potencialmente afectado por un accidente en una industria, también condiciona los procesos de determinación, cuantificación y valoración de los riesgos, fomentando su ajuste a situaciones no solo teóricas, sino reales. Por otro lado, la planificación del territorio pretende aportar soluciones permanentes que faciliten la resolución de las situaciones de emergencia.

La situación de partida de la actividad donde debe aplicarse la legislación determina algunos aspectos de dicha aplicación: Debemos distinguir básicamente entre **instalaciones existentes** y **nuevos proyectos de instalaciones**, existiendo también situaciones intermedias, las más frecuentes las de **ampliaciones o modificaciones** de instalaciones existentes.

La aplicación de los criterios legales sobre prevención de accidentes graves en **instalaciones existentes** está condicionada por límites difíciles de salvar en algunos casos, sobre todo en los de instalaciones diseñadas y construidas con anterioridad a 1980; no obstante, en la mayoría de estos casos, los diseños se han mostrado suficientes y las necesidades de ajuste no demasiado importantes.

En España, el Real Decreto 886/88 que adaptaba la Seveso I a la reglamentación Nacional fue desarrollado fundamentalmente durante la década de los noventa. En los primeros años de esta década, sobre todo, y debido a la crisis de negocio en la que estuvo sumida la industria química no hubo demasiados proyectos de nuevas instalaciones. Debido a esta situación, la aplicación práctica de la reglamentación lo fue sobre **instalaciones existentes**.

Sobre una **instalación existente** el objeto fundamental de la aplicación de los criterios legales en su componente preventiva ha sido someter a análisis estas instalaciones para determinar las hipótesis que podrían evolucionar a una situación accidental cuyas consecuencias sobrepasen los límites de la propiedad en mayor o menor grado. El método seguido para ello puede resumirse en el cuadro –2.

Con este método, solamente si se hace un análisis cuantitativo de riesgos, existirán elementos de juicio para considerar si una instalación es suficientemente segura con respecto a criterios de nivel de riesgo individual o social (ver apartado 4), pudiéndose exigir en caso de no serlo, modificaciones que permitan aumentar la seguridad.

En la práctica, estos análisis cuantitativos de riesgos, han sido exigidos en muy pocas ocasiones por parte de las autoridades competentes. A pesar de ello, en numerosas compañías químicas se han efectuado tales estudios por iniciativa propia, conduciendo en los casos necesarios a cambios y mejoras de seguridad de sus instalaciones. Las primeras interesadas en evitar la ocurrencia de accidentes graves son las propias compañías.

A pesar de todo, no es imprescindible disponer de los resultados de la evaluación cuantitativa de los riesgos para poder detectar oportunidades de mejora de la seguridad de una instalación. Del propio proceso de identificación de hipótesis accidentales surge información y orientación sobre qué cambios pueden llevarse a cabo en una instalación para reducir la probabilidad de ocurrencia de esas hipótesis o para tomar medidas que neutralicen sus efectos. La única desventaja sobre el análisis cuantitativo es que no se podrá evaluar en qué grado se ha reducido el riesgo, y por tanto esta reducción podría no ser suficiente.

La dificultad más evidente en la aplicación de esta metodología en **instalaciones existentes** con respecto a su aplicación en **nuevos proyectos** es la posibilidad real de llevar a cabo cambios y mejoras. Esta posibilidad se reduce drásticamente en la práctica debido a los costes que supone e incluso a la imposibilidad física de hacerlos en muchos casos.

Para los **proyectos de nuevas instalaciones**, el método aplicado es en líneas generales el mismo y que se expone en forma resumida en el cuadro-2. Sin embargo, la forma de llevar a cabo la identificación de peligros debe acometerse en etapas adaptadas al estado de desarrollo del proyecto usando diferentes técnicas disponibles en la literatura según se esquematiza en el cuadro-3. Se puede encontrar una descripción de estas técnicas y de cómo aplicarlas en las guías editadas en por la Dirección General de Protección Civil descritas en las referencias dadas en el cuadro-6.

Es de esta forma cómo podrán ser identificadas de forma temprana las salvaguardas tecnológicas necesarias para evitar los peligros y reducir los riesgos. La eficacia de tales salvaguardas se hace máxima, y su coste se minimiza aplicándolas al diseño y construcción de la nueva instalación en el momento que más convenga.

En una simplificación extrema, en el desarrollo de un **proyecto de una nueva instalación** existen, entre otras intermedias, las siguientes etapas:

#### 1-Establecimiento de las bases del proyecto:

- Qué producto o productos quieren obtenerse, y en qué cantidades.
- Qué materias primas son necesarias, y en qué cantidades.
- Qué materias auxiliares y consumos de energía son necesarios.
- Cuales son las fuentes de suministro de materias primas y auxiliares y energías.
- En qué condiciones están disponibles las materias y las energías.
- Cuales son los residuos previstos en la nueva actividad.
- Qué ubicación y qué distribución son las más adecuadas para la instalación y sus sistemas auxiliares.
- Cuales son las reglamentaciones legales generales aplicables a la actividad en materia de seguridad y medio ambiente.
- Etc...

#### 2-Ingeniería conceptual del proceso:

- Establecimiento de flujos de materias primas, auxiliares, productos intermedios y finales.
- Establecimiento de las capacidades de almacenamiento de las diferentes sustancias.

- Cálculo de balances de materia y energía en las distintas etapas del proceso, y establecimiento de las condiciones de presión y temperatura en cada etapa.
- Identificación de los equipos de proceso necesarios para su desarrollo ( bombas, compresores, turbinas, reactores, columnas de destilación, hornos, intercambiadores de calor...etc )
- Identificación de los sistemas básicos de control automático del proceso ( presiones, temperaturas, flujos composiciones de las diferentes corrientes...etc). Establecimiento de los esquemas de control
- Etc...

### 3-Ingeniería de detalle de la instalación:

- Definición de las especificaciones de los equipos de proceso ( capacidades, características constructivas, especificaciones de materiales...etc)
- Cálculo de los elementos de tuberías, tamaños de tuberías, detalles de los elementos de control.
- Establecimiento de procedimientos detallados de construcción de la instalación
- Acopio de materiales y servicios.
- Etc...

### 4-Construcción de la nueva instalación

- Explanación de terrenos y obra civil
- Montaje de estructuras de soporte
- Montaje de tuberías y equipos de proceso
- Conexiones eléctricas de equipos e instrumentos de control
- Etc...

### 5-Recepción de la instalación y puesta en marcha

- Comprobación de adecuación al proyecto
- Pruebas “en blanco” de motores y equipos móviles
- Pruebas de estanqueidad de tuberías y equipos de proceso
- Adición de materias primas
- Etc...

En cada una de ellas, es necesario actuar por la parte del equipo de proyecto encargado de los estudios de seguridad y de la aplicación de las conclusiones obtenidas , para que el resultado final del proyecto sea acorde con los requisitos de seguridad detectados como necesarios para asegurar la prevención de accidentes graves y para minimizar sus consecuencias si llegaran a ocurrir.

### **Referencias históricas. Accidentes graves ocurridos.**

En el apartado A 2 de este capítulo se hacen algunas escuetas referencias a algunos de los accidentes graves ocurridos a lo largo de la historia y en los que han estado involucradas sustancias químicas. Estas son solamente referencias de un conjunto más numeroso que aquí no puede ser tratado con detalle debido a limitaciones de espacio y para no perder de vista el objeto primero de este capítulo.

Sí es conveniente referirse a la existencia de bases de datos donde se recoge información de los hechos accidentales ocurridos a lo largo de las últimas décadas, y que sirven de

referencia para algunas de las etapas del proceso de identificación de peligros y evaluación de riesgos de una determinada instalación.

De estas bases de datos, algunas son de uso libre, siendo internet la vía más habitual para acceder a ellas.

Como ejemplo, pueden usarse los accesos siguientes:

- <http://www.epa.gov/swercepp/tools.html> Mantenido por la agencia para la protección del medio ambiente de Estados Unidos, y que proporciona acceso no solamente a bases de datos de accidentes sino a otros numerosos enlaces relacionados con la prevención de accidentes graves y la gestión de emergencias.
- <http://mahbsrv.jrc.it/cdcir/> Correspondiente al servicio de internet del centro tecnológico de ISPRA en Italia, financiado y promovido por la Unión Europea para el desarrollo de aplicaciones encaminadas al cumplimiento de la Directiva Seveso. En esta aplicación puede accederse a una cantidad muy importante de hechos ocurridos pudiéndose clasificar por productos, efectos, consecuencias...etc.

Existen bases de datos comerciales, de las cuales cabe citar expresamente algunas debido a la extensión de su utilización en el área de evaluación y cuantificación de riesgos industriales de origen químico. La denominada MHIDAS ( MAJOR HISTORICAL INCIDENT DATA SERVICE ) dependiente de la *Regulatory Authorities Area* del Reino Unido, cuyo acceso puede localizarse en:

<http://www.hse.gov.uk/infoserv/mhidas.htm>

La denominada FACTS, de origen en Holanda, es una de las de más amplia utilización: [http://www.mep.tno.nl/wie we zijn eng/orgaanisatie/afdelingen/industriële veiligheid/software/FACTS IV eng.html](http://www.mep.tno.nl/wie_we_zijn_eng/orgaanisatie/afdelingen/industriële_veiligheid/software/FACTS_IV_eng.html)

Algunas bases de datos (por ejemplo la denominada RIJNMOND) aportan, no solamente una relación de accidentes o fallos producidos en los sistemas ,sino también una estimación de rangos de frecuencia de ocurrencia de los hechos, base fundamental para la cuantificación de las hipótesis de ocurrencia de accidentes y de los análisis cuantitativos de riesgos.



## **2. Requisitos legales**

### **La Directiva SEVESO de 1982 y la Directiva SEVESO-II de 1996. Aplicación en España.**

La directiva Seveso de 1982 ha sido aplicada en España mediante el Real decreto 886/88, completado y modificado después por el real Decreto 952/1990, y desarrollados y detallados por la denominada " Directriz básica para la elaboración y homologación de los planes especiales del sector químico" aprobada mediante resolución de 30 de enero de 1991.

Dado que las competencias de protección civil son de nivel autonómico, en algunas comunidades autónomas se han producido desarrollos reglamentarios adicionales sobre los citados en el párrafo anterior.

La directiva Seveso-II adoptada por el consejo de la Unión Europea en diciembre de 1996, se ha desarrollado para su aplicación en España mediante el real decreto 1254/1999 de 20 de julio, habiendo sido uno de los primeros países de la Unión en llevar a cabo esta adaptación. No obstante está pendiente su desarrollo mediante la modificación y adaptación a los nuevos requisitos de la " Directriz básica para la elaboración y homologación de los planes especiales del sector químico" que por mandato del propio Real Decreto 1254/99 debe ser revisada.

En el cuadro-4 se esquematizan las principales diferencias entre una y otra Directiva y sus desarrollos.

### **Los nuevos requisitos y su aplicación en la práctica**

La nueva Directiva introduce cambios significativos, con respecto a la anterior, de tal forma que plantea un nuevo marco de referencia tanto para la industria, como para las autoridades competentes:

Política de prevención de accidentes graves.  
Sistema de Gestión de la Seguridad.  
Efecto Dominó  
Ordenación Territorial  
Sistema de inspección.  
Etc.....

La adaptación mediante el RD 1254/99 va incluso más allá en varios aspectos significativos que hacen que probablemente nos encontremos ante un nuevo marco más restrictivo por ahora, que en otros países de la Unión Europea.

Por ejemplo, se incluye en el apartado "*definiciones*" el Real Decreto, la del "*efecto dominó*", a diferencia de la Directiva, que no lo hace. Esta definición sugiere la existencia de una metodología dispuesta para ser aplicada al estar ya en vigor el requisito. Sin embargo, esta metodología no existe de una forma clara; hay sólo intentos de desarrollo de la misma.

Estas ampliaciones de texto, (definición de efecto, etc..) contrastan con algunas reducciones o simplificaciones, como la que se ha hecho al adaptar el punto c) ii) del

anexo-III de la Directiva, en la que se elimina el concepto de “*evaluación de la probabilidad de ocurrencia*” de accidentes graves en el procedimiento de evaluación de sus riesgos.

El control de la urbanización es uno de los aspectos del nuevo marco que va a exigir mayores dosis de rigor en los planteamientos de partida de las evaluaciones de riesgos y cálculos de consecuencias y en la propia aplicación de la ordenación territorial.

Esto exigirá una mayor dosis de rigor para seleccionar, como punto de partida de los estudios de seguridad, unos sucesos básicos creíbles que conduzcan a escenarios realistas, huyendo de los escenarios del horror.

La Directiva en sí misma, y su adaptación a nuestro país plantean una serie de interrogantes que hacen que la visión desde el sector industrial sea de inquietud ante los mismos.

España ha sido el tercer país en adaptar la Directiva 96/88/CE del Consejo.

Esto quiere decir que doce países han ido por detrás de nosotros y, con toda probabilidad, no por ineficacia de la administración, si no más bien por la dificultad de adaptar a la realidad de cada país unos requisitos con tanto calado y con una necesidad tan evidente de entendimiento entre las partes responsables de su cumplimiento.

Los nuevos requisitos de la directiva sobre los efectos dominó y la planificación del territorio exigen buscar criterios más actuales, lógicos y responsables, técnicamente rigurosos y eficaces, pero acordes con los estándares actuales, no con los que pudo haber en su momento, cuando se puso en marcha la Seveso-I hace mas de una década en el caso de España.

Las guías técnicas deberán ser sometidas a un proceso de revisión y adecuación a la realidad actual de los sistemas de diseño, construcción, operación y medios de control, mantenimiento, políticas de seguridad y sistemas de gestión que en cada empresa se estén aplicando. La determinación de hipótesis accidentales y la evaluación de sus consecuencias deben estar adaptadas a éstos criterios y no a los de décadas pasadas.

El papel de las empresas de ingeniería especializadas es importante en el desarrollo de esta adecuación; también lo es el punto de vista de la parte de la administración que debe planificar las actuaciones en situaciones de crisis.

La aportación de la universidad y su capacidad investigadora, si se da, será determinante de la calidad de los resultados. El punto de vista de la industria, es necesario. El rigor, en su mejor acepción del termino, del control que debe ejercer la administración en todo éste proceso es la garantía de un buen resultado final. Pero todos estos factores actuando por separado, nunca podrán conseguir aproximarse a una solución optima para todos. Esto sólo se conseguirá si se este desarrollo se lleva a cabo con la participación de todos las partes involucradas.

### **3. Aplicación a un proyecto**

#### **Características principales del proyecto**

En adelante, las referencias que se hacen a la aplicación de los requisitos de la legislación sobre accidentes graves lo serán a un proyecto industrial real que se ha desarrollado durante los dos últimos años.

Las características más importantes del proyecto se presentan de forma esquemática en los cuadros 7 a 10 y podemos resumirlas en lo siguiente:

Se trata de un complejo integrado, concebido para producir una gama completa de productos químicos de base. Dentro del complejo existe una planta de cogeneración de ciclo combinado de 91,4 MW de potencia, con capacidad para alimentar a todos los procesos con vapor y energía eléctrica más un excedente de ésta superior al sesenta por ciento que es vertido a la red nacional. Como servicio asociado más importante hay que citar una planta de tratamiento de aguas residuales que junto a los sistemas de seguridad instalados suponen un diez por ciento de la inversión total que asciende a más de 80.000 millones de pesetas.

El proyecto se ha diseñado para una producción total de 678.000 toneladas anuales de los diferentes productos, cuya distribución es la que figura en el cuadro-9.

Durante su construcción se han empleado un total aproximado de 8 millones de horas/hombre, que sería equivalente al trabajo continuo de 180 personas durante 25 años. Durante su funcionamiento de forma continua supone el mantenimiento de 180 puestos de trabajo directos y 800 indirectos.

Se trata del proyecto industrial más importante en términos de inversión realizada, que se ha desarrollado en los últimos años en España, y del que también cabe destacar que la mayor parte de los equipos e instalaciones han sido fabricados por empresas españolas. Los procesos de ingeniería conceptual y de detalle han durado 30 meses y las obras de construcción habrán durado entre 24 y 30 meses una vez finalizadas en su totalidad.

#### **El estudio de riesgos como base de partida. Metodología general.**

El elemento base para el cumplimiento de la legislación sobre accidentes graves es el estudio de riesgos. En la terminología de la anterior versión de la Directiva Seveso y sus desarrollos nacionales y autonómicos, lo que era la denominada "declaración obligatoria de accidentes mayores", ha sido sustituido por lo que la actual legislación denomina "informe de seguridad", complementado éste con la definición de la "política de prevención de accidentes graves" y el "sistema de gestión de seguridad" que el industrial está obligado a adoptar y mantener de forma eficaz. Tanto la declaración obligatoria, como el informe de seguridad, basan su desarrollo y coherencia en el estudio de riesgos.

El Proyecto descrito en el apartado anterior, ha sido diseñado y desarrollado en su mayor parte estando en vigor la anterior legislación por lo que el método seguido ha sido el correspondiente a la "declaración obligatoria de accidentes mayores".

En el cuadro-2 se resume la metodología general seguida para llegar desde la identificación de peligros de la instalación hasta la planificación de emergencias y del uso

del territorio ( responsabilidades estas últimas de los organismos competentes ). El cuadro-11 resume el núcleo del proceso del estudio, desde la mera identificación del riesgo a la determinación de su magnitud y su comparación con criterios de aceptación, a través de los cálculos de consecuencias y de la frecuencia de los accidentes.

El proceso seguido en el proyecto ha sido una aproximación en tres etapas, descrita de forma esquemática en el cuadro-12. Las etapas I y II constituyen lo que podemos denominar **aproximación determinista**, es decir, la determinación de qué tipo de accidentes son posibles y qué consecuencias tendrían si se produjesen, sin entrar en cual sería la probabilidad de su ocurrencia y del daño producido en su caso; esto último es objeto de la etapa III: **aproximación probabilista** a través de un análisis cuantitativo.

A efectos formales, la documentación presentada a los organismos competentes de la administración como producto resultante del estudio de riesgos del proyecto desde el punto de vista de accidentes graves, se complementó según el procedimiento previsto, con una serie de informaciones previas, referidas a las características de las instalaciones y del entorno donde están ubicadas y con una descripción de detalle del plan de emergencia interior resultante de los riesgos de accidentes graves identificados. Esta información de partida, denominada básica, junto al plan de autoprotección o plan de emergencia interior ( P.E.I. ), son la referencia para que las autoridades responsables de la planificación de emergencias en el exterior puedan efectuar adecuadamente su labor.

La información básica de partida incluyó detalles de los siguientes grandes apartados:

- Descripción de la zona de influencia de la actividad, con detalles del emplazamiento de las instalaciones, latitud y longitud, municipios vecinos más importantes, elementos geográficos notables del entorno, infraestructuras tales como puertos aeropuertos, ...etc. A esta información se anexó un mapa suficientemente detallado del entorno de las instalaciones y un plano topográfico con una escala suficientemente detallada (1/10.000 o superior)
- Datos de población residente e itinerante, con referencia a las variaciones horarias, localización de elementos de valor histórico, cultural o natural que pudieran verse afectados. Datos sobre naturaleza del terreno, acuíferos, características de cauces de agua, usos de aguas y suelos, meteorología, sismicidad ...etc. Detalles sobre redes de saneamiento, sistemas de depuración e "instalaciones singulares" tales como instalaciones de alta tensión, gasolineras ...etc.
- Descripción detallada del polígono industrial donde se ubica la instalación con referencias a instalaciones próximas de otras empresas; detalles de los haces de tuberías de interconexión entre ellas con datos concretos de productos trasegados, caudales, presiones, temperaturas, diámetros,... para cada tubería. También se describió con detalle el pacto de ayuda mutua existente entre la empresas y otras empresas de polígono, para caso de emergencia.
- Identificación y datos relevantes, para el objeto del estudio de riesgos, de la instalación objeto del proyecto: Materias primas y auxiliares utilizados y productos obtenidos, resumen descriptivo de los procesos de fabricación debidamente separados por secciones, especificaciones de los depósitos de almacenamiento de las sustancias clasificadas a efectos de la legislación sobre accidentes graves, detalles de bandejas de tuberías y conducciones propias de la instalación o de interconexión con indicación de las condiciones de presión temperatura y caudal en los puntos de entrada y salida de la instalación ....etc.

- Colección de fichas de seguridad de todas las sustancias y productos peligrosos que se manejan en la instalación. Estas fichas contienen datos para cada sustancia sobre su identificación y propiedades físicas, químicas y de toxicidad. Estos datos son los que se utilizan en los procesos de cálculos de consecuencias de accidentes. También se aportan referencias sobre riesgos para el hombre y para el medio ambiente y una descripción de los procedimientos de actuación en caso de vertido, fuga accidental o incendio, donde se hace referencia a los medios de protección personal y neutralización que sería necesario utilizar en estos casos.

En cuanto al Plan de Emergencia Interior, éste identifica los accidentes que justifican su actuación de acuerdo a los resultados del estudio de riesgos, establece los procedimientos de actuación para cada supuesto y define de forma clara la organización de emergencia: Jefatura y Equipos de Intervención. También establece con detalle las interfaces con el plan de emergencia exterior, detallando los procedimientos de notificación a las autoridades y de comunicación durante la emergencia. En la documentación que recoge el plan de emergencia interior se relaciona el inventario de medios para la lucha contra la emergencia (redes de agua contra incendios, vehículos contra incendios, equipos de protección individual...). Por último, el plan describe de qué forma se asegura su operatividad y cómo ésta permanece con el tiempo (programa de difusión del plan y entrenamiento del personal involucrado, revisiones periódicas, programa de simulacros y ejercicios...etc)

Este conjunto de documentos cuyo núcleo es el estudio de riesgos, fue elaborado de forma coherente y coordinada con el desarrollo global del proyecto, obteniéndose la versión oficial para entregar a la administración con tiempo suficiente para poder cumplir el requisito impuesto por el Real Decreto 886/88 que establece su entrega con una anterioridad mínima de 6 meses antes de la puesta en marcha de las nuevas instalaciones.

### **Aproximación determinista: Detección de posibles accidentes y evaluación de sus consecuencias. Métodos aplicados.**

La primera tarea a llevar a cabo para efectuar el estudio de seguridad de una instalación o de un proyecto de instalación es la **identificación del riesgo**. Es decir, determinar qué tipo de accidentes son posibles en la instalación. Para ello, una vez más se acomete un estudio por etapas desde más elementales a más sofisticadas, para finalmente seleccionar una serie de hipótesis representativas de los accidentes tipo a considerar en las partes siguientes del estudio.

En el caso objeto de este capítulo se llevó a cabo un **estudio de riesgos preliminar** durante el tercer trimestre de 1996, ésto es, en una época en la que el proyecto se encontraba en su etapa de diseño conceptual. El objeto de este estudio de riesgos preliminar fue recopilar toda la información básica necesaria para definir los requerimientos de seguridad higiene industrial y medio ambiente aplicables a la actividad.

Se partía de los estudios de riesgos efectuados con anterioridad sobre una instalación similar pero de tamaño 2,5 veces menor existente en la misma empresa, en una ubicación geográfica diferente. Los estudios sobre la instalación existente alcanzaban desde un análisis histórico de accidentes, un análisis sistemático del índice de incendios y explosiones mediante la técnica denominada "índice de dow", estudios "hazop", estimación de consecuencias, cálculo de frecuencias mediante el estudio de árboles de fallos y eventos, hasta los cálculos de vulnerabilidad y cuantitativo del riesgo. Con esta base, el

objeto del trabajo de evaluación preliminar fue validar las conclusiones obtenidas en la instalación existente, para las características y el tamaño del nuevo proyecto.

Partes importantes de esta etapa del estudio fueron, por un lado la actualización de datos de las sustancias peligrosas involucradas, y por otro la **consulta de datos históricos de accidentes** de forma específica para cada sustancia y en cada condición, de proceso o de almacenamiento. También se reflejaron en la documentación, y formaron parte de las bases de partida algunas referencias de accidentes especialmente significativos por su gravedad o por las circunstancias en las que se produjeron, que aportaron criterios al diseño conceptual que en ese momento se estaba llevando a cabo. Como resultado de esta etapa, entre otros, se obtuvieron una serie de criterios básicos de diseño que afectaron entre otros a:

- Diseño de juntas para bridas entre tuberías y equipos
- Diseño de sistemas de toma de muestras
- Sistemas para drenaje de equipos de proceso, incluyendo drenajes de agua de depósitos de gases licuados
- Características de soportes de recipientes y venteos, para prevenir situaciones de llenado total.
- Protecciones pasivas contra incendios de recipientes y estructuras metálicas
- Válvulas de aislamiento de emergencia con bloqueo automático por fuego
- Diseño de recipientes para baja temperatura
- Protecciones de recipientes ante vacío
- Etc...

Una de las herramientas más potentes para la identificación de riesgos durante el diseño de una instalación es la técnica de análisis denominada HAZOP (Hazard and operability study). Esta técnica además aporta información muy valiosa sobre la operatividad de la instalación no solamente desde el punto de vista de seguridad, si no del de producción, versatilidad, capacidad de respuesta ante desviaciones ...etc. Se trata de una técnica cualitativa por la que mediante un análisis sistemático de la instalación o su proyecto, permite identificar sus puntos débiles, y por lo tanto las hipótesis de accidente más significativas. Además, lo que es más importante, aplicada en el momento adecuado del diseño, permite detectar puntos de mejora que aumentan la seguridad y por lo tanto conducen a una menor probabilidad de ocurrencia de hipótesis que podrían evolucionar a un accidente grave.

El método HAZOP, que tuvo su origen en la compañía química británica I.C.I. (Imperial Chemical Industries) en 1963, se basa en las técnicas del análisis crítico y consiste básicamente en seleccionar una serie de "nudos" de la instalación, donde se analizan las posibles desviaciones de las variables del proceso, tales como temperatura, presión, nivel de líquido, caudal, composición...etc. Las desviaciones se analizaron de forma sistemática para cada una de las variables, en cada nudo, utilizando una lista de palabras guía. Las palabras guía utilizadas fueron: NO, MÁS, MENOS, OTRO e INVERSO, que definen cada tipo de desviación.

Así por ejemplo, para un determinado nudo se pueden dar las siguientes desviaciones a analizar:

MÁS TEMPERATURA  
MENOS TEMPERATURA  
MÁS PRESIÓN  
MENOS PRESIÓN  
OTRA COMPOSICIÓN  
FLUJO INVERSO  
MÁS NIVEL

## MENOS NIVEL

Para cada desviación se documentaron los siguientes aspectos:

- a) causas posibles que provocan la desviación
- b) consecuencias que pueden producirse, en relación con las posibles causas
- c) respuesta del sistema ante la eventual desviación. Elementos del sistema que permiten detectar lo ocurrido o contrarrestar los efectos. Elementos de control, alarmas...etc
- d) acciones recomendadas para evitar la ocurrencia de la desviación o disminuir las consecuencias
- e) comentarios para aclarar o complementar todo lo anterior

Es evidente que muchas de las desviaciones detectadas como posibles no conducen a un problema de seguridad, pero sí de operación y como tales fueron incluidas en el análisis. También es evidente que muchas de las recomendaciones resultantes pudieron aplicarse sobre el proyecto de una forma relativamente sencilla al haber surgido como consecuencia del análisis en el momento adecuado del desarrollo de dicho proyecto.

Una etapa crítica en el estudio HAZOP es la selección de nudos donde aplicar el análisis. Para ello previamente, la instalación fue dividida en subsistemas lo suficientemente homogéneos en función y características. Una vez hecha esta división se eligieron los puntos (nudos) de la instalación donde se producen o pueden producirse variaciones significativas de las variables de proceso a considerar en el estudio

Otro aspecto crítico del proceso de análisis es la idoneidad del equipo que acomete el estudio. El equipo debe ser multidisciplinar y experimentado, no solamente en la aplicación de la técnica de análisis sino también en los diferentes aspectos de la instalación o proyecto que se está analizando. En el caso que nos ocupa, el equipo estuvo formado permanentemente por:

Un coordinador experimentado en el uso de la técnica HAZOP

Un ingeniero de procesos

Un responsable de operación

Un técnico de seguridad

Un ingeniero de mantenimiento

Además, en los momentos precisos, se incorporaron al equipo técnicos de otras disciplinas cuando fue necesario durante el proceso de análisis.

En el proyecto descrito en este capítulo el análisis HAZOP se llevó a cabo en un total de 53 sesiones de trabajo celebradas entre diciembre de 1997 y febrero de 1999. El total del proyecto fue dividido en 13 secciones o unidades, cada una de las cuales a su vez fue subdividida en subsistemas hasta un total de 53. El número total de nudos analizados fue de casi 400, y el número de recomendaciones resultantes de 900, la mayor parte de las cuales se han ejecutado durante la construcción de las instalaciones con anterioridad a su puesta en servicio. La documentación de los resultados del análisis ha ocupado un total de 1250 páginas. El número de horas/hombre dedicadas al estudio fueron casi 3400.

Sobre la base de los estudios preliminares citados, la información obtenida del estudio de datos históricos de accidentes ocurridos y los resultados del análisis HAZOP, se seleccionaron un total de 48 hipótesis de accidentes a considerar en las partes siguientes del análisis de riesgos. En este punto, fue crítico para que la selección de hipótesis resultara equilibrada, elegir aquellas que podían considerarse más representativas y más coherentes con los medios de detección y protección previstos en el proyecto; no es recomendable elegir las que a la vista de los sistemas de seguridad y generales de proyecto aparezcan como de ocurrencia remota, en detrimento de otras cuya ocurrencia sea más probable.

Una vez establecidas las hipótesis de accidentes a considerar, el estudio de riesgos se centró en el análisis de consecuencias de cada una de ellas.

Para efectuar el análisis de consecuencias fue preciso establecer unas bases sobre las cuales acotar una serie de posibilidades de evolución de los sucesos iniciadores. Tales bases fueron, por un lado los datos meteorológicos a emplear en los cálculos de evolución de los sucesos, y por otro los denominados "criterios generales empleados" que fijaron:

- ❖ tiempos de fuga en función de los sistemas de detección y actuación a distancia que preveía el proyecto
- ❖ tipología de las roturas de tuberías que se suponen,
- ❖ modelos de cálculo empleados para predecir la evolución de nubes tóxicas o inflamables o mecanismos de evaporación de charcos formados por derrame de las sustancias,
- ❖ valores umbral de radiación térmica, sobrepresiones y concentraciones de productos tóxicos resultantes de los accidentes, de acuerdo a los cuales se establecen las zonas de intervención y de alerta en una emergencia

No es objeto de este capítulo profundizar en los diferentes modelos de cálculo disponibles para efectuar los análisis de consecuencias de accidentes graves. Existen referencias suficientes en las guías técnicas citadas en el cuadro-6. También, en las guías técnicas editadas por la Dirección General de Protección Civil referidas en el cuadro-6, se dan pautas para fijar criterios generales de base para proceder al análisis de consecuencias en el estudio de seguridad.

En cuanto a los valores umbral de los efectos de radiación térmica, sobrepresión y toxicidad que determinan las zonas de intervención y alerta ( ver cuadros-13 y 14 ) en una emergencia, estos criterios están fijados en la "Directriz Básica para la Homologación de los Planes Especiales del Sector Químico" citada en el apartado B-1 "requisitos legales", de este capítulo.

Para los valores de temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad del viento y categoría de estabilidad atmosférica empleadas para los cálculos, fue necesario justificar su adopción de forma coherente con las condiciones meteorológicas habituales y frecuentes en la zona donde se ubica la instalación objeto del proyecto. Para ello fue necesario recurrir a datos de un observatorio meteorológico reconocido y fijar las condiciones de forma justificada. En cuanto a la estabilidad atmosférica y la dirección del viento, se efectuaron los cálculos tanto para la condición más probable como para la más desfavorable en los casos de fugas tóxicas y nubes de gas inflamable.

En cualquier caso, el estudio de riesgos debe documentar de forma expresa y clara cuáles han sido los criterios básicos empleados en el cálculo de consecuencias. Una vez fijado esto, se procede a describir con detalle los datos concretos de cada hipótesis y a calcular los alcances de los efectos hasta sus valores umbral.

Una vez calculadas todas las distancias en metros, del alcance donde los efectos sobrepasan los valores umbrales establecidos, se procedió a seleccionar en cada hipótesis aquel efecto que alcanzaba mayor distancia. Se representaron las áreas potencialmente afectadas mediante círculos con centro en las coordenadas del equipo o lugar de la instalación donde se establece la hipótesis accidental y radio los alcances máximos obtenidos para las zonas de intervención y de alerta. Esta representaciones se realizaron sobre planos suficientemente detallados del área donde se ubica la instalación. A partir de aquí, se clasificaron los potenciales accidentes en categorías (1, 2 o 3 ), en función de sus alcances y de acuerdo a los siguientes criterios fijados por la Directriz Básica citada anteriormente. Estos criterios son:



### **ACIIDENTES DE CATEGORÍA 1:**

Aquellos accidentes en los que de acuerdo con el estudio de seguridad se prevea que tengan como única consecuencia daños materiales en la instalación accidentada, no previéndose daños de ningún tipo en el exterior del establecimiento industrial.

### **ACCIDENTES DE CATEGORÍA 2:**

Aquellos accidentes en los que de acuerdo con el estudio de seguridad se prevea que tengan como consecuencia posibles víctimas y daños materiales en la instalación industrial. Las repercusiones en el exterior del establecimiento industrial se limitan a daños leves o efectos adversos sobre el medio ambiente en zonas limitadas.

### **ACCIDENTES DE CATEGORÍA 3:**

Aquellos accidentes en los que de acuerdo con el estudio de seguridad se prevea que tengan como consecuencia posibles víctimas, daños materiales graves o alteraciones del medio ambiente en zonas extensas en el exterior del establecimiento industrial.

Esta información con las hipótesis de accidentes clasificadas en categoría 1, 2 o 3, es el resultado final que la legislación prevé para el estudio de riesgos de las instalaciones objeto del proyecto y debe ser presentada oficialmente a los organismos competentes ( Industria y Protección Civil ) con tiempo suficientemente anterior a la puesta en marcha de la instalación, y como mínimo 6 meses antes. Con ella, estos organismos competentes, por un lado pueden evaluar si las condiciones de seguridad previstas en el proyecto están en proporción con los potenciales riesgos, y por otro permite establecer o revisar el plan de actuación de Protección Civil en el exterior de la instalación ( Plan de Emergencia Exterior ). En algunos casos, los organismos competentes dictaminan que la información presentada sea sometida a una evaluación exhaustiva por parte de una entidad especializada que no haya participado de ninguna forma en los trabajos necesarios para llevar a cabo el proyecto ni el estudio de seguridad. Como resultado de esta evaluación pueden surgir modificaciones de las conclusiones obtenidas por el estudio, en cuyo caso este es revisado y elevado a definitivo.

También en algunos casos, los organismos competentes exigen el llamado Análisis Cuantitativo de Riesgos ( ACR ). En estos casos, cuando se considera necesario por la entidad del proyecto o las características del área donde se va a ubicar la nueva instalación, el estudio de riesgos se orienta a un **enfoque probabilista**, donde no solamente se consideran los hechos teóricamente posibles, si no que se calcula la probabilidad de que se produzca un determinado nivel de daños. En el proyecto descrito en este capítulo se acometió la realización del ACR, con independencia de que posteriormente fuera exigido o no por los organismos competentes. El objeto del apartado siguiente es describir cómo fue llevado a cabo este análisis cuantitativo de riesgos.

### **Aproximación probabilista: Cálculo de la frecuencia de accidentes y determinación del riesgo. Comparación del valor de riesgo obtenido con criterios de aceptación. Métodos aplicados**

Calcular el riesgo en términos probabilísticos presenta la ventaja de la cuantificación. Por lo tanto, el valor obtenido puede compararse con criterios de aceptación, establecidos de forma reglamentaria o considerados como válidos en un contexto de buenas prácticas de actividades industriales y su interacción con la sociedad.

Aceptar o no aceptar un riesgo no tiene sentido si no se cuantifica dicho riesgo en términos probabilísticos. Para la mayoría de las personas no tiene sentido no aceptar el riesgo de, por ejemplo viajar en avión, aunque tampoco tendría sentido aceptarlo. Empieza a tener sentido cuando se considera que esta forma de viajar tiene una determinada probabilidad

de causar la muerte por accidente, y que ésta es menor que la probabilidad de morir en accidente de carretera...etc.

En los cuadros-15 a 18 se dan algunas definiciones de "riesgo individual" y "riesgo social" de acuerdo a lo descrito en la Guía Técnica de la Dirección general de Protección Civil denominada " Métodos cuantitativos para el análisis de riesgos ", y algunos valores de aceptación, recogidos en la guía sobre planificación del uso del territorio editada por la unión europea que se cita, junto a otras referencias, en el cuadro-6.

En dichas referencias se proponen como riesgo individual intolerable  $10^{-4}$  víctimas por año para cualquier tipo de actividad, incluso si la persona expuesta considera que, de su exposición, se deriva un beneficio que le compensa, como podría ser una actividad lúdica o desarrollar un trabajo. En estas mismas referencias se proponen valores de  $10^{-6}$  víctimas por año o, dependiendo de las circunstancias incluso de  $10^{-5}$  víctimas por año como aceptables por triviales en cualquier circunstancia. El valor adoptado debe serlo en todo caso por el legislador, dada la subjetividad del asunto. En el caso de la aplicación de la legislación sobre accidentes graves de origen químico en España, el valor límite adoptado es de  $10^{-6}$  víctimas por año, como riesgo individual, como consecuencia de un determinado accidente.

La referencia al riesgo individual no es suficiente a veces, ya que la sociedad tiene de forma natural aversión a la posibilidad de ocurrencia de un suceso que aunque sea de muy baja probabilidad, pueda provocar un número muy elevado de víctimas. En este sentido, debería aceptarse un valor mucho menor de ocurrencia en términos de frecuencia anual de víctimas por año, como consecuencia de accidentes con un mayor número de víctimas. No obstante, en este momento en España no existe ningún valor "oficial" adoptado para el riesgo social.

Si el resultado del estudio de riesgos es superior al valor de referencia, es necesario adoptar medidas complementarias para aumentar la seguridad de la instalación, bien por la vía de reducir la probabilidad de ocurrencia de los accidentes , bien por la de reducir sus consecuencias o bien por ambas.

Es evidente la ventaja que aporta adoptar, como estrategia del estudio de seguridad aplicado a un proyecto de una nueva instalación, esta **aproximación probabilista** al problema, y no condicionarla a que en su día las autoridades competentes pudieran solicitarla. Las medidas de seguridad adicionales que en su caso pudieran resultar necesario incorporar al diseño, lo serían en su momento óptimo desde los puntos de vista de eficacia y coste. Así se consideró en el proyecto objeto de este capítulo, lo que permitió presentar a la autoridad competente un estudio de riesgos con un valor de riesgo inferior al límite establecido, sin necesidad de efectuar costosas modificaciones en la instalación una vez construida y en funcionamiento.

El proceso seguido para hacer el análisis cuantitativo de riesgos se basó, evidentemente, en los resultados obtenidos en la parte del estudio citada en el apartado anterior de identificación del riesgo y el cálculo de consecuencias. El paso siguiente fue determinar la frecuencia de los accidentes para finalmente cuantificar el valor del riesgo y presentar estos datos en forma de "curvas de isoriesgo" aplicadas al área donde se ubican las instalaciones. El resultado final debía cumplir el requisito de que ningún punto exterior al recinto industrial tuviera un riesgo individual asociado mayor de  $10^{-6}$  víctimas por año.

Para determinar la frecuencia de los accidentes se establecieron primero las distintas probabilidades de evolución de las hipótesis accidentales, mediante la aplicación de

árboles de sucesos, en base a los datos de frecuencia de ocurrencia de cada posible evolución obtenidos en el análisis histórico utilizado en la parte de identificación del riesgo. Así, por ejemplo, la probabilidad de que un derrame de un determinado líquido inflamable forme un charco que se incendie o evolucione formando una nube que posteriormente explota o provoque una llamarada o se disperse sin más consecuencias, depende de cada sustancia y de las condiciones en las que se encuentra. Mediante los árboles de sucesos, se determinaron para cada hipótesis estas probabilidades de evolución.

Una vez determinadas estas probabilidades se clasificaron los sucesos accidentales básicos en cuatro grandes categorías:

- Rotura de líneas
- Rotura de equipos por sobrepresión
- Sobrellenado de tanques
- Rotura de mangueras de descarga

Al ser sucesos básicos se procedió a evaluar directamente su frecuencia consultando las bases de datos históricas adecuadas, algunas de las cuales se citan en el apartado A-4. De esta forma se establece para cada hipótesis su frecuencia probable de accidente final expresada en OCASIONES/AÑO, a partir del producto de las frecuencias de los sucesos iniciadores obtenidas por la probabilidad del suceso final resultante de los árboles de sucesos, en tantos por ciento.

Así por ejemplo, para una hipótesis de rotura parcial en la tubería de 100 milímetros de diámetro de impulsión de una bomba de trasiego que conduce un determinado líquido inflamable y tóxico, se encuentran los siguientes datos:

- En la fuente bibliográfica consultada ( RIJNMOND ), se encuentra el valor de tasa de este tipo de roturas para tuberías entre 50 y 150 milímetros de  $3 \times 10^{-11}$  (ocurrencias/metro de tubería x horas de funcionamiento año).
- La tubería en cuestión tiene una longitud de 35 metros.
- Se considera un total de 8.760 horas de funcionamiento al año.

Con estos datos, la frecuencia del suceso iniciador en ocasiones año, se calcula:

$$F = 3 \times 10^{-11} \times 35 \times 8.760 = 9,2 \times 10^{-6} \text{ ocasiones/año.}$$

- Por otro lado, de la aplicación de árboles de sucesos a las posibles evoluciones del supuesto, resultan los siguientes datos:
  - Probabilidad de que se incendie el charco formado..... 50%
  - Probabilidad de que la fuga origine una explosión de la nube formada..... 5%
  - Probabilidad de que la fuga origine una llamarada..... 5%
  - Probabilidad de que la nube formada evolucione sin incendiarse y forme una nube tóxica..... 40%

Las frecuencias de accidentes finales resultantes, con estos datos son:

$$\begin{aligned}
 F \text{ incendio} &= 3 \times 10^{-11} \times 35 \times 8.760 = 9,2 \times 10^{-6} \times 0.50 = 4,6 \times 10^{-6} \text{ ocasiones/año} \\
 F \text{ explosión} &= 3 \times 10^{-11} \times 35 \times 8.760 = 9,2 \times 10^{-6} \times 0.05 = 0,46 \times 10^{-6} \text{ " } \\
 F \text{ llamarada} &= 3 \times 10^{-11} \times 35 \times 8.760 = 9,2 \times 10^{-6} \times 0.05 = 0,46 \times 10^{-6} \text{ " } \\
 F \text{ fuga tóxica} &= 3 \times 10^{-11} \times 35 \times 8.760 = 9,2 \times 10^{-6} \times 0,40 = 0,37 \times 10^{-6} \text{ " }
 \end{aligned}$$

De esta forma se calcularon las frecuencias de las 48 hipótesis resultantes en la etapa de identificación del riesgo descrita en el apartado C-3, lo que supuso evaluar las frecuencias anuales de ocurrencia de 137 posibles accidentes.

Una vez estimadas las frecuencias posibles de los accidentes postulados en el estudio, el paso siguiente fue determinar cuantitativamente el riesgo y la elaboración de los mapas de "curvas de isoriesgo", que son la representación gráfica del riesgo individual, y que unen los puntos del plano de la instalación y su entorno que presentan el mismo valor de riesgo individual. Para ello a cada punto se asocia el valor de la frecuencia de daño que sufriría una persona situada en él.

Para el cálculo, se empleó un programa informático expresamente destinado a ello, considerándose una malla cuadrada para la instalación y su entorno de 4.000 metros x 4.000 metros que abarca la totalidad del área afectada con posibles efectos letales. Más allá de estas distancias la probabilidad de muerte es nula.

Los sucesos finales considerados fueron tratados teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas de dirección y velocidad con sus correspondientes probabilidades asociadas y dos condiciones de estabilidad atmosférica: la más probable (70,8% de probabilidad) y la más desfavorable (29,2%).

El riesgo individual en cada punto "P" de la malla se determinó, mediante el programa informático citado, sumando los riesgos individuales ocasionados por cada una de las hipótesis de accidente, que resulta de multiplicar la probabilidad de ocurrencia de dicha hipótesis por la probabilidad de muerte en el punto "P" como consecuencia de la ocurrencia de la hipótesis. En el caso de hipótesis de fugas tóxicas y nubes de gas inflamable se consideraron a su vez las probabilidades de cada condición atmosférica y de que el viento sople en la dirección correspondiente a cada uno de ocho sectores en los que se dividió el plano para limitar el número de cálculos necesarios.

En este punto del análisis, se eligieron las hipótesis que más incidían en el resultado final debido a sus alcances de daño, y por otro lado las que más lo hacían debido a las frecuencias. Este fue el punto de partida para considerar si las medidas previstas en el diseño inicial podían ser modificadas para reducir dichos alcances, dichas frecuencias o ambos. El resultado de esta reconsideración del diseño inicial, se describió con detalle en la documentación presentada a las autoridades competentes seis meses antes de la fecha prevista en un principio para la puesta en marcha de las nuevas instalaciones.

#### **4. Conclusiones**

##### **Objetivos de los estudios de seguridad. Coherencia entre el desarrollo del estudio de seguridad y el desarrollo global del proyecto.**

Los estudios de seguridad del proyecto tuvieron como objetivos permanentes no tan solo cumplir los requisitos de la legislación sobre accidentes graves, sino también contribuir al diseño de unas instalaciones optimizadas desde los puntos de vista de operatividad y control de los riesgos

Acometer el estudio de seguridad en las primeras etapas del proyecto y avanzar en él al mismo tiempo que el proyecto avanzaba, fue la garantía para poder introducir los criterios y sistemas de seguridad adecuados para que el resultado se ajustara a las condiciones que la legislación vigente impone a este tipo de instalaciones y a las necesidades de disponer de una instalación moderna operativa y rentable para la Empresa.

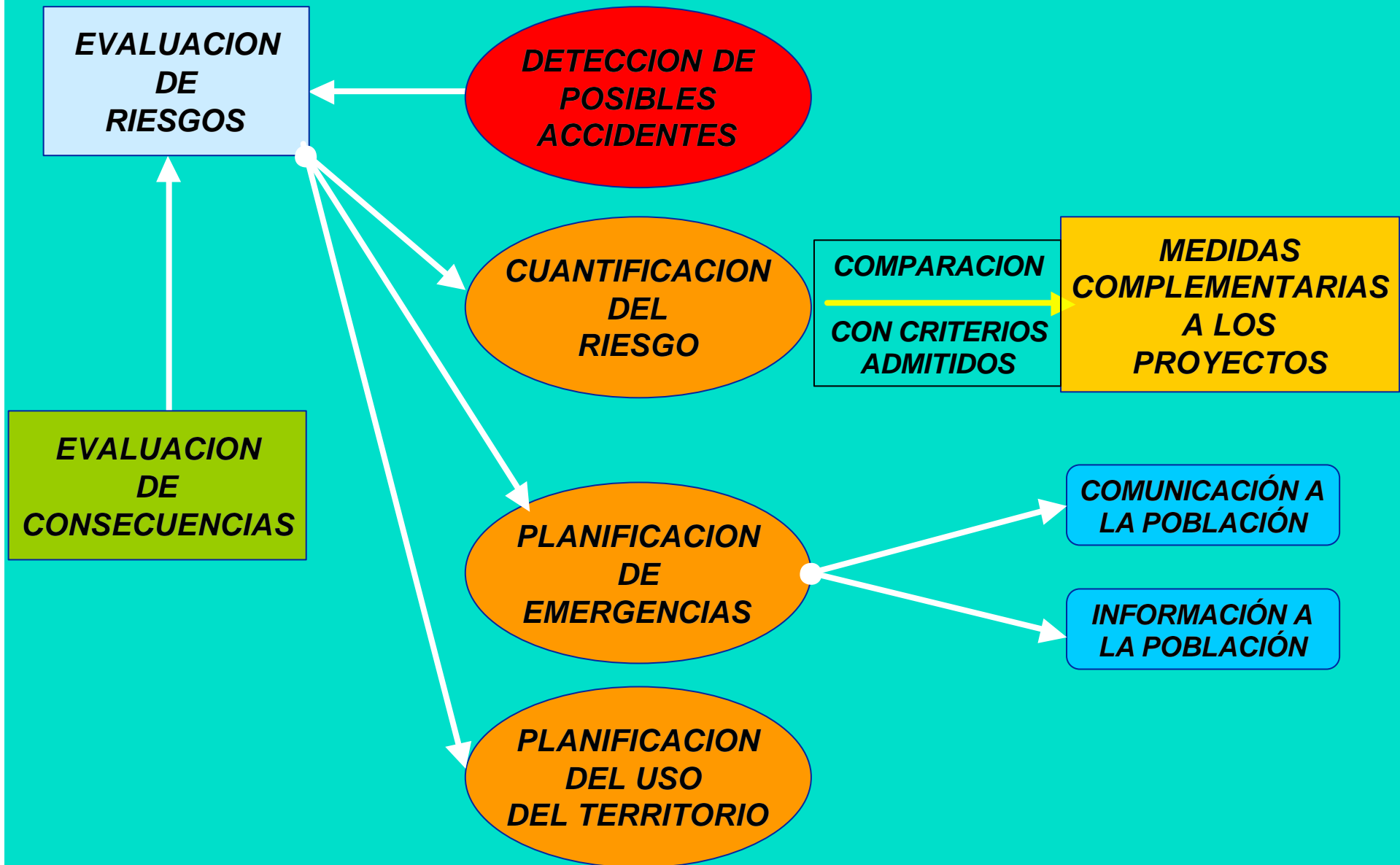
Efectuar los estudios en etapas no adecuadas hubiera supuesto muchas dificultades, cuando no imposibilidades, para introducir las mejoras que resultaron necesarias o convenientes y poder disponer de ellas en el momento de poner en marcha las instalaciones.

# CUADROS

**CUADRO 1. Fenomenología de riesgo en plantas químicas**

<b>SUSTANCIA</b>	<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>SUCESO</b>	<b>ACCIDENTE</b>
<b>LIQUIDO</b>	<b>INFLAMABLE</b>	<b>DERRAME</b>	<b>INCENDIO</b>
	<b>TÓXICA</b>	<b>DERRAME</b>	<b>CONTAMINACIÓN AGUAS O TERRENOS</b>
<b>GAS</b>	<b>INFLAMABLE</b>	<b>FUGA</b>	<b>INCENDIO EXPLOSIÓN</b>
	<b>TÓXICA</b>	<b>FUGA</b>	<b>NUBE TÓXICA</b>
<b>GAS LICUADO</b>	<b>INFLAMABLE</b>	<b>DERRAME CON EVAPORACIÓN</b>	<b>INCENDIO EXPLOSIÓN</b>
	<b>TÓXICA</b>	<b>DERRAME CON EVAPORACIÓN</b>	<b>NUBE TÓXICA</b>

**CUADRO 2. Estructura de la legislación sobre accidentes graves**





CUADRO 3. Métodos de análisis de riesgos

## DISEÑO

- HAZOP
- AMFEC
- CHEC-LIST
- ANÁLISIS PRELIMINAR
- ANÁLISIS HISTÓRICO

## CONSTRUCCIÓN

- WHAT IF...?
- AMFEC
- HAZOP

## OPERACIÓN

- I.DOW
- I.MOND
- OBSERVACIONES
- HAZOP

**CUADRO 4. Marco legal de la prevención de Accidentes Graves**

<b>DIRECTIVAS EUROPEAS</b>	<b>LEGISLACION NACIONAL</b>	<b>DESARROLLOS AUTONOMICOS</b>
<b>82/501/CEE</b>  <b>SEVESO</b>	<b>RD886/88</b>  <b>RD952/90</b>  <b>DIRECTRIZ BASICA</b>  <b>GUIAS TECNICAS (G.T.)</b>	<b>Decreto 391/88 (Cataluña)</b>  <b>Orden 13-4-89 (Cataluña)</b>  .  .  <b>Etc.</b>
<b>96/82/CE</b>  <b>SEVESO II</b>  <b>GUIAS TECNICAS (G.T.)</b>	<b>RD1254/99 (20-Julio)</b>	<b>-</b>

<http://europa.eu.int/comm/dg11/seveso/index.htm>

**CUADRO 5. Requisitos legales sobre Accidentes Graves**

**82/50/CEE (886/88)**

**96/82/CE (1254/99)**

**OBJETO :**

- ➔ **EVALUAR LOS RIESGOS DE ACCIDENTES GRAVES EN LA INDUSTRIA QUIMICA.**
- ➔ **PARA :**
  - **PREVENIR SU OCURRENCIA**
  - **LIMITAR SUS CONSECUENCIAS**

- ➔ **ESTUDIO DE SEGURIDAD**
- ➔ **EVALUACION DE CONSECUENCIAS**
  - CUALITATIVA
  - CUANTITATIVA
- ➔ **PLANIFICACION DE EMERGENCIAS**

- ➔ **INFORME DE SEGURIDAD**
  - POLITICA DE PREVENCIÓN DE ACCIDENTES GRAVES (PPAG)
  - SISTEMA DE GESTION DE SEGURIDAD (S.G.S.)
- ➔ **EVALUACION DE CONSECUENCIAS**
  - CUALITATIVA
  - CUANTITATIVA
- ➔ **EFFECTOS DOMINO**
- ➔ **PLANIFICACIÓN DEL USO DEL TERRITORIO**
- ➔ **SISTEMA DE INSPECCIONES**

## CUADRO 6. Referencias legales y documentales en Accidentes Graves

### LEGALES

- ➔ **DIRECTIVA DEL CONSEJO DE EUROPA 86/92/CE**
- ➔ **REAL DECRETO DE APLICACIÓN EN ESPAÑA RD1254/99**
- ➔ **DIRECTRIZ BASICA DEL RIESGO QUIMICO (B.O.E. 6-2-91)**

### DOCUMENTALES

- ➔ **GUIAS TECNICAS DE LA D.G. DE PROTECCION CIVIL**
  - **METODOLOGIA PARA EL ANALISIS DE RIESGOS (VISION GENERAL)**
  - **METODOS CUALITATIVOS PARA EL ANALISIS DE RIESGOS**
  - **METODOS CUANTITATIVOS PARA EL ANALISIS DE RIESGOS**
- ➔ **MAJOR ACCIDENTS HAZARDS BUREAU (MAHB)**  
<http://mahbsrv.jrc.it>
- ➔ **CHEMICAL EMERGENCY PREPAREDNESS AND PREVENTION OFFICE**  
<http://earth1.epa.gov/ceppo>
- ➔ **OFFSITE CONSEQUENCES ANALYSIS GUIDANCE**  
<http://earth1.epa.gov/ceppo/ap.ocgu.htm>

*CUADRO 7. Datos principales del Proyecto estudiado en este capítulo*

- **PRODUCCIÓN DE DIFERENTES PRODUCTOS: 678.000 t/a**
- **INVERSIÓN: 80.900 Mpts**
- **GENERACIÓN DE EMPLEO: » CERCANO A 1000 PERSONAS**
- **IMPACTO DEL 20% EN LA FACTURACIÓN FUTURA DE LA EMPRESA**
- **PROYECTO FUNDAMENTAL PARA EL DESARROLLO DEL NEGOCIO DE**  
**LA EMPRESA**

CUADRO 8. Generación del Proyecto estudiado en este capítulo

● **EN FASE DE OPERACIÓN**

● **MANO DE OBRA DIRECTA:**

● **PLANTILLA PROPIA**

**122**

(OPERACIÓN, LABORATORIO, SUPERVISIÓN, ...)

● **MANTENIMIENTO Y OTROS CONTRATOS:**

» **60**

**TOTAL**

» **182**

● **MANO DE OBRA INDIRECTA**

» **800**

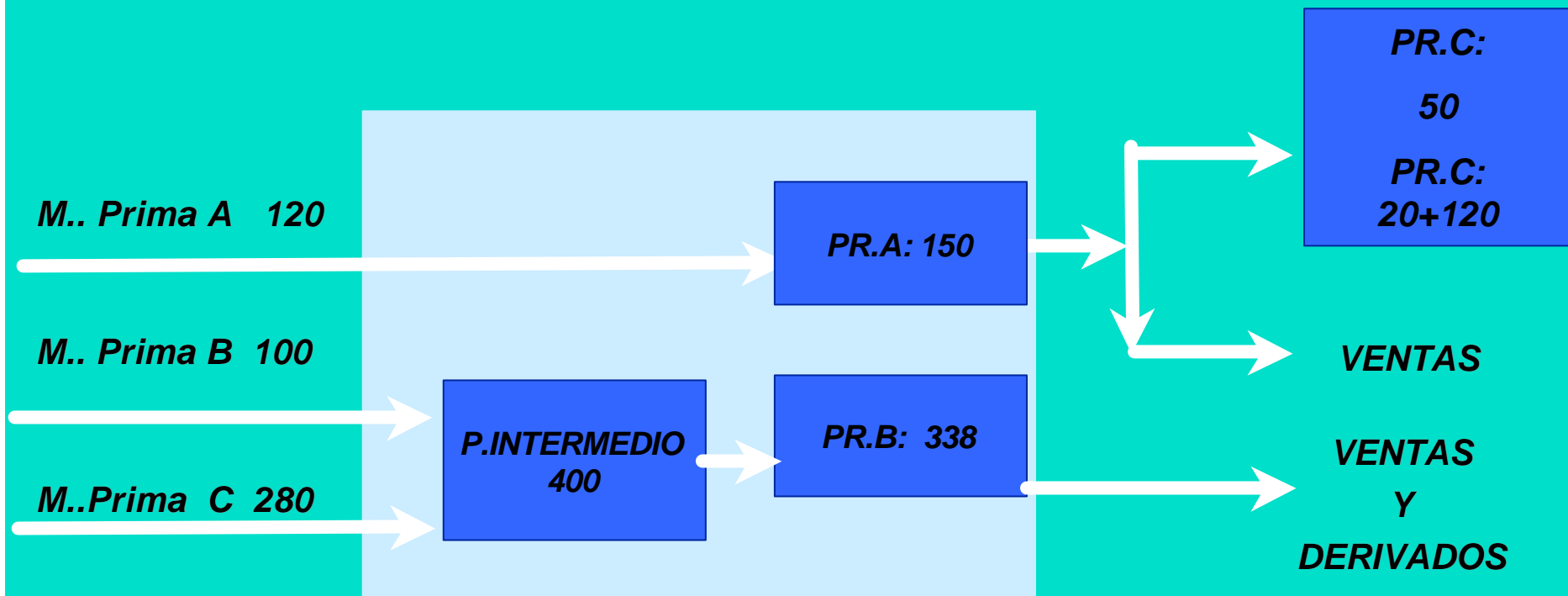
**TOTAL**

» **982**

● **EN FASE DE CONSTRUCCIÓN:**

- **PREVISTAS 4 MILLONES HORAS/HOMBRE. EQUIVALENTES A UNA MEDIA DE 1400 HOMBRES/MES DURANTE 16 MESES**

**CUADRO 9. Producciones genéricas del Proyecto**



**(CIFRAS EN kt/año)**

**CUADRO 10. Magnitudes energéticas del Proyecto**

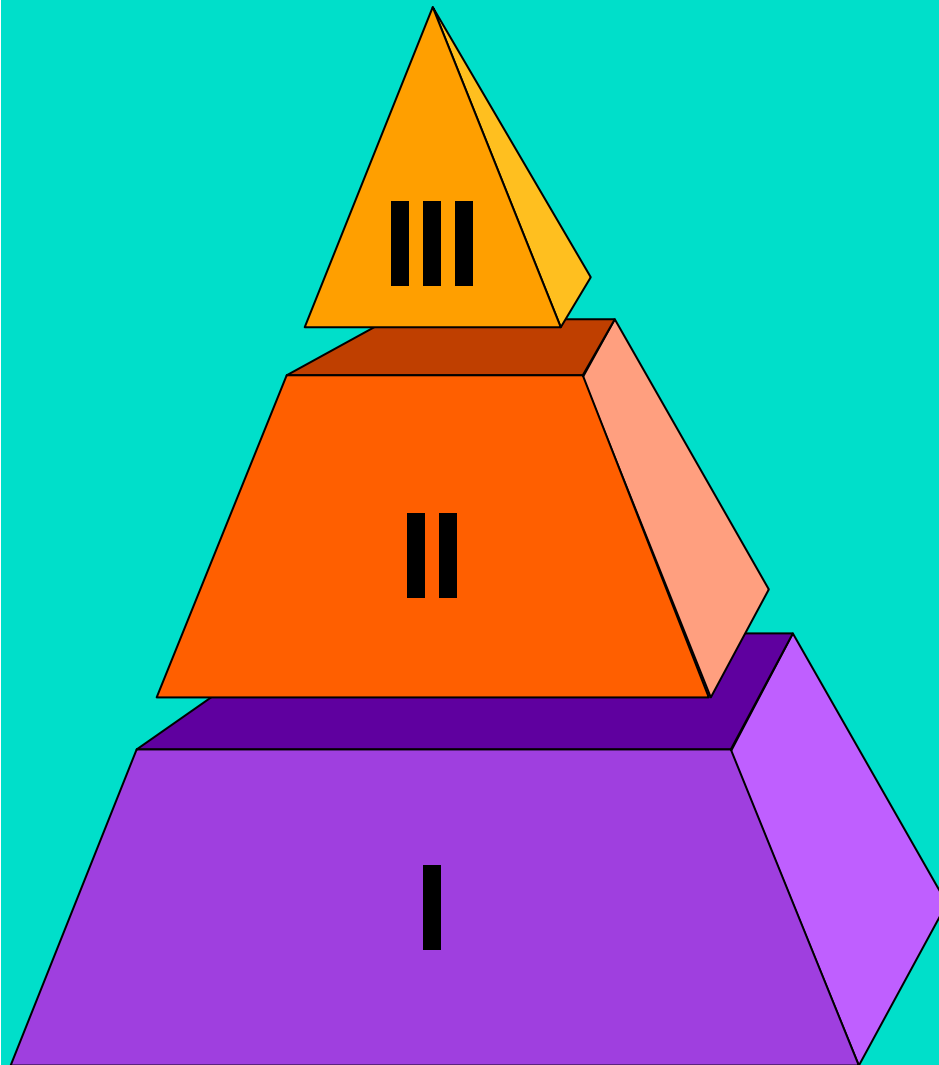
- **PRODUCCIÓN ENERGÍA ELÉCTRICA** **91,4 Mw**
- **CONSUMO ENERGÍA ELÉCTRICA:** **34,5 Mw**
- **PRODUCCIÓN VAPOR ALTA PRESIÓN 70 kg/cm<sup>2</sup>:** **284 t/h**
- **RENDIMIENTO ELÉCTRICO EQUIVALENTE:** **72%**



**CUADRO 11. Esquema del Análisis de Riesgos**



**CUADRO 12. Evaluación de riesgos en diversas etapas**



- **ANALISIS CUANTITATIVO**  
**(Evaluación del riesgo)**
- **ANALISIS DE CONSECUENCIAS**
- **IDENTIFICACION DE RIESGOS**
- **ESTUDIOS HAZOP**  
**(Detección de posibles accidentes)**
- **ANALISIS PRELIMINAR**
- **LISTAS DE COMPROBACION**

**ZONA DE INTERVENCIÓN :**

**AQUELLA EN LA QUE LAS CONSECUENCIAS DE LOS ACCIDENTES PRODUCE UN NIVEL DE DAÑOS QUE JUSTIFICAN LA APLICACIÓN INMEDIATA DE MEDIDAS DE PROTECCIÓN.**

**ZONA DE ALERTA :**

**AQUELLA EN LA QUE LAS CONSECUENCIAS DE LOS ACCIDENTES PROVOCAN EFECTOS PERCEPTIBLES PERO NO JUSTIFICAN PROTECCIÓN EXCEPTO PARA LOS GRUPOS CRÍTICOS.**

**CUADRO 14. Límites de vulnerabilidad admitidos para diversas magnitudes en las zonas de intervención y de alerta**

	<b>Z.I.</b>	<b>Z.A.</b>
<b>SOBREPRESION</b>	VALOR LOCAL INTEGRADO DEL IMPULSO DE 150 mbar.S. SOBREPRESIÓN LOCAL ESTÁTICA DE 125 mbar.	VALOR LOCAL INTEGRADO DEL IMPULSO DE 100 mbar.S. SOBREPRESIÓN LOCAL ESTÁTICA DE 50 mbar.
<b>FLUJO DE RADIACIÓN TÉRMICA</b>	5 Kw/m <sup>2</sup> Tiempo máximo 3 minutos	3 Kw/m <sup>2</sup>
<b>CONCENTRACIONES TÓXICAS EN AIRE</b>	IPVS	

*CUADRO 15. Límites de riesgo aceptables a escala individual*

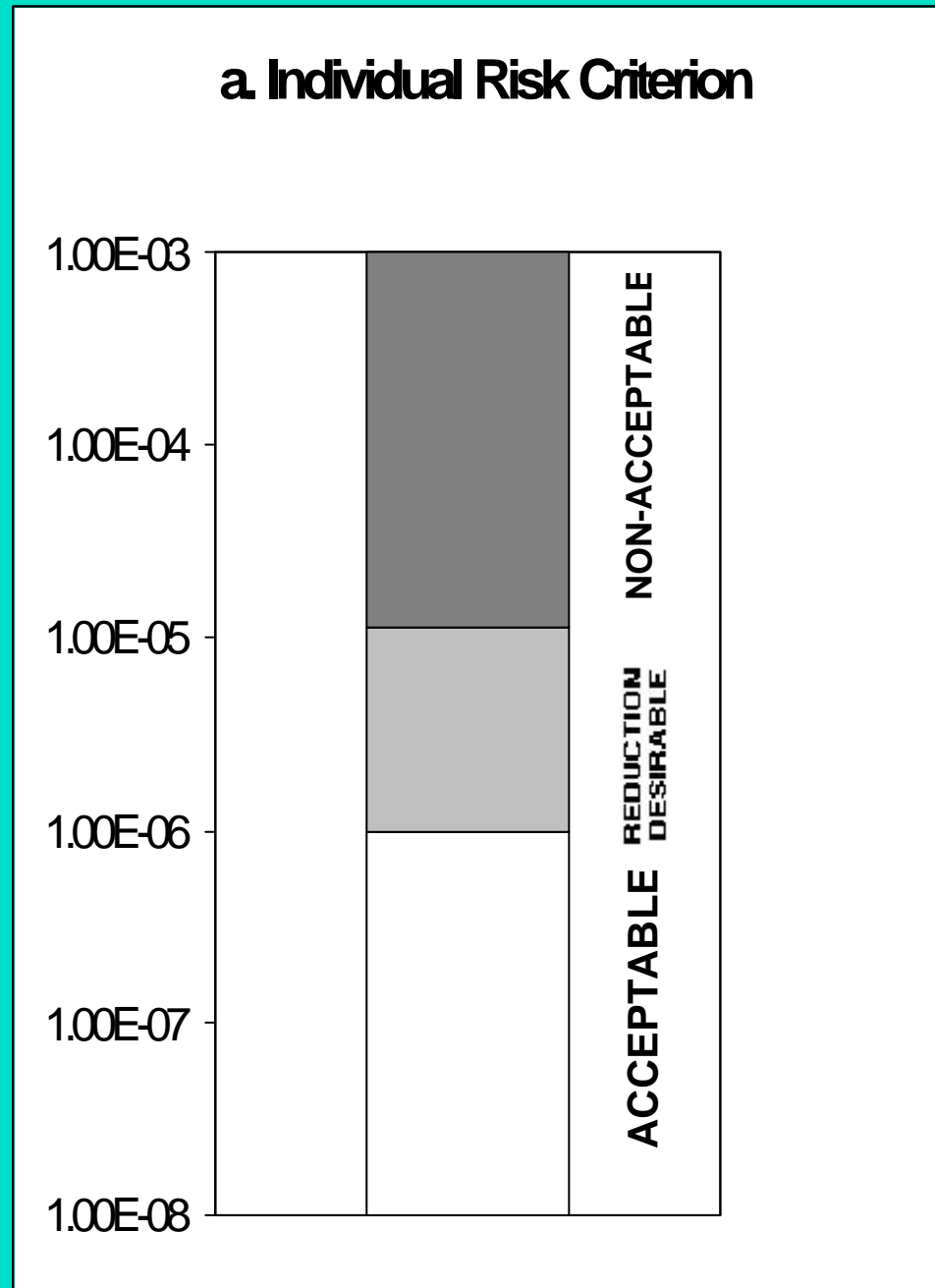
**“FRECUENCIA A LA CUAL UN INDIVIDUO PUEDE ESPERAR UN DETERMINADO NIVEL DE DAÑO COMO CONSECUENCIA DE LA OCURRENCIA DE UN DETERMINADO SUCESO ACCIDENTAL”**

**“EJ. : RIESGO INDIVIDUAL DE MORIR EN UN ACCIDENTE DE CARRETERA. APROXIMADAMENTE  $10^{-4}$  / AÑO.**

**LA DIRECTRIZ BASICA DEL “RIESGO QUIMICO” DETERMINA QUE:**

**EL RIESGO INDIVIDUAL DEBIDO A UN ACTIVIDAD QUIMICA DEBE SER INFERIOR A  $10^{-6}$  VICTIMAS POR AÑO. EN CASO CONTRARIO DEBEN ADOPTARSE MEDIDAS CORRECTORAS ADICIONALES.**

**CUADRO 16. Criterio Internacional orientativo para el riesgo individual**



**CUADRO 17. Definición del riesgo social, no siempre obligada  
cuantificación en la evaluación de riesgos**

**ES LA RELACION ENTRE LA FRECUENCIA Y EL  
NUMERO DE PERSONAS QUE SUFREN UN  
CIERTO NIVEL DE DAÑO EN UNA POBLACION  
DADA, COMO CONSECUENCIA DE UN  
DETERMINADO SUCESO ACCIDENTAL.**

**CUADRO 18. Criterio Internacional orientativo sobre la aceptabilidad del riesgo social**

### **b. Societal Risk Criterion**

