

**"Documento original en mal estado"**

### 3. El papel de la dirección

Las instalaciones que presentan riesgos de accidentes mayores tienen que funcionar con un nivel muy alto de seguridad. Este es el cometido de la dirección. Además, la dirección desempeña el papel esencial en la organización y aplicación de un sistema de control contra los riesgos de accidentes mayores. En particular, incumbe a la dirección:

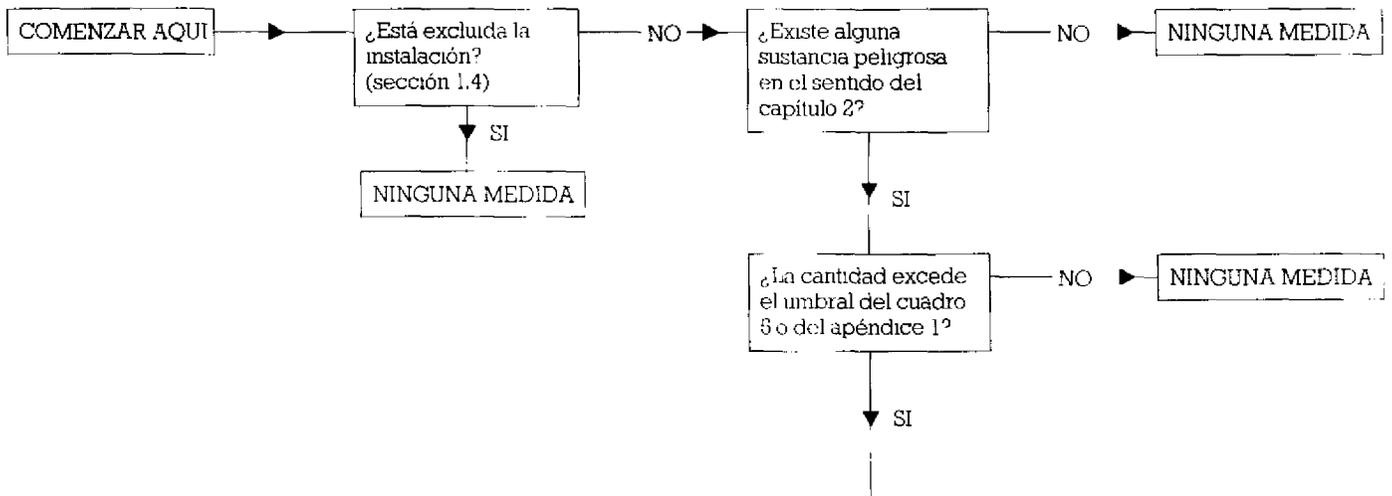
- a) proporcionar la información necesaria para determinar las instalaciones con riesgos de accidentes mayores,
- b) llevar a cabo la evaluación del riesgo,
- c) informar a las autoridades de los resultados de la evaluación del riesgo;
- d) establecer un plan de emergencia,
- e) adoptar medidas para mejorar la seguridad de la planta.

En la figura 1 se resumen los deberes que ha de cumplir un fabricante en el sistema de control de riesgos de accidentes mayores.

En primer lugar y sobre todo, la dirección de una instalación que puede causar un accidente importante tiene el deber de luchar contra ese riesgo grave. Para ello, debe tener conciencia de la naturaleza del riesgo, de los acontecimientos que causan accidentes y de las consecuencias potenciales de esos accidentes. Esto significa que, para controlar con éxito un riesgo importante, la dirección debe poder contestar a las preguntas siguientes:

- a) ¿Las sustancias tóxicas, los explosivos o las sustancias inflamables constituyen un riesgo importante en nuestras instalaciones?
- b) ¿Qué deficiencias o errores pueden ocasionar condiciones anormales que provoquen un accidente grave?
- c) Si se produce un accidente importante, ¿cuáles son las consecuencias de un incendio, una explosión o un escape de sustancias tóxicas para los empleados, las personas que viven fuera de la fábrica, la planta o el medio ambiente?

**Figura 1. El papel de la dirección en los sistemas de control de riesgos de accidentes mayores**



MEDIDAS (según la legislación nacional)				MEDIDAS en caso de producirse un accidente mayor
Notificación a las autoridades	Facilitación de información sobre modificaciones importantes	Preparación de un plan de emergencia <i>in situ</i>	Información del público acerca del riesgo de accidente mayor	Notificación de un accidente mayor a las autoridades
Preparación y presentación de un informe sobre seguridad	Facilitación de más información, si se solicita	Facilitación de información a las autoridades locales para que puedan establecer un plan de emergencia fuera del emplazamiento		Facilitación de información sobre el accidente mayor

- d) ¿Qué puede hacer la empresa para impedir que esos accidentes se produzcan?
- e) ¿Qué se puede hacer para mitigar las consecuencias de un accidente?

### 3.1. Evaluación de los riesgos

La forma más apropiada de contestar a esas preguntas es llevar a cabo una evaluación del riesgo, cuyo objetivo es entender por qué se producen los accidentes y cómo se pueden evitar o por lo menos atenuar

- Por tanto, una evaluación adecuadamente realizada
- analizará el concepto de seguridad existente o elaborará uno nuevo,
  - determinará los riesgos restantes, y
  - establecerá medidas óptimas para la protección técnica y organizativa en los casos de funcionamiento anormal de la planta

A continuación se describen algunos métodos que pueden emplearse para efectuar una evaluación, y su aplicación.

#### 3.1.1. Métodos de evaluación del riesgo

Para lograr los objetivos de una evaluación del riesgo, es necesario seguir ciertos procedimientos o utilizar ciertos medios auxiliares. Con este fin se han establecido varios métodos de trabajo. Estos métodos se resumen en el Cuadro 6.

De los métodos allí enumerados se hace un examen detallado de los dos siguientes, que son complementarios entre sí:

- análisis preliminar del riesgo (APR), y
- estudio del riesgo y de la capacidad de funcionamiento (RYCF)

Se hará luego una breve descripción de otros dos métodos utilizados para determinar la frecuencia con que ocurre un accidente. Estos métodos son el «análisis del árbol de fallas» y el «análisis de la secuencia del accidente». Su aplicación en una evaluación de riesgos debe limitarse a un pequeño número de casos especiales.

La presente sección concluye con un examen del «análisis de la secuencia del accidente», que se utiliza para describir el daño que se produciría si ocurriera un accidente.

##### 3.1.1.1. Análisis preliminar del riesgo (APR)

Este análisis se lleva a cabo como la primera etapa en una evaluación del riesgo. Comienza con el tipo de accidente que entraña materiales tóxicos, inflamables y explosivos. El procedimiento especifica los elementos del sistema (componentes de la planta como cisternas de almacenamiento, recipientes de reacción) o el acontecimiento (sobrecarga de una cisterna, reacción de desbordamiento) que pueden producir una situación de riesgo.

**Cuadro 6. Métodos de trabajo relacionados con la evaluación del riesgo de accidente**

Método	Finalidad	Objetivo	Principio de trabajo aplicado
1. Análisis preliminar del riesgo	1. Determinación de los riesgos	1. Elaboración definitiva del concepto de seguridad	1. Empleo de «medios auxiliares de reflexión»
2. Diagramas matriciales de interacciones			
3. Empleo de listas de verificación			
4. Análisis del efecto de los fallos			2. Empleo de «medios auxiliares de búsqueda» y documentación esquemática
5. Estudio del riesgo de accidente y de la funcionalidad			
6. Análisis secuencial del accidente (inductivo)	2. Evaluación de los riesgos en función de la frecuencia con que se producen	2. Optimización de la fiabilidad y disponibilidad de sistemas de seguridad	3. Descripción gráfica de las secuencias de los fallos y cálculo matemático de probabilidades
7. Análisis secuencial de los fallos (deductivo)			
8. Análisis de la consecuencia del accidente	3. Evaluación de las consecuencias del accidente	3. Mitigación de las consecuencias y elaboración de planes óptimos de emergencia	4. Elaboración de modelos matemáticos de los procesos físicos, químicos

**Cuadro 7. Análisis preliminar del riesgo de accidente en una planta de almacenamiento de gas licuado de petróleo**

Accidente	Sistema	Riesgo	Componente relacionado con la seguridad
Explosión de vapor	Recipiente de almacenamiento	Formación de una atmósfera explosiva fuera del recipiente de almacenamiento debido a <ul style="list-style-type: none"> <li>- fallo de una válvula de seguridad</li> <li>- corrosión del recipiente</li> <li>- presión excesiva</li> </ul>	Válvula de seguridad  Protección del recipiente contra la corrosión  Medida de la presión, medida de la temperatura, sistema de aspersión, válvula de seguridad

Una vez puestos al descubierto los sistemas de riesgo, se deben especificar los acontecimientos que pueden provocar el accidente. Acontecimientos tales como «la formación de una atmósfera explosiva fuera o dentro de un recipiente de almacenamiento» o «el escape de un gas tóxico» tendrán que examinarse con el fin de determinar los componentes de una planta que pueden causar el accidente. Los componentes, entre los que cabe mencionar las cisternas de almacenamiento, los recipientes de reacción, las tuberías, las bombas, los agitadores, las válvulas de seguridad u otros sistemas, tendrán que señalarse para efectuar un examen más detallado por otros métodos de evaluación como el estudio del riesgo y de la capacidad de funcionamiento.

Los resultados del análisis preliminar del riesgo se registran en un formulario como se indica en el cuadro 7.

Puesto que el análisis preliminar del riesgo es rápido y eficaz en función de los costos, y dado que identifica los problemas esenciales, la evaluación del riesgo debe siempre comenzar con este método.

Sus resultados indican qué sistemas o procedimientos han de ser objeto de un análisis más profundo y qué sistemas tienen un menor interés desde el punto de vista del riesgo de accidente mayor. De este modo, es posible limitar la evaluación a los problemas esenciales, evitando así un esfuerzo innecesario.

### 3.1.1.2. Estudio del riesgo y de la capacidad de funcionamiento (RYCF)

Tan pronto como un análisis preliminar del riesgo ha establecido los sistemas o acontecimientos que pueden ocasionar un riesgo de accidente mayor, es necesario estudiar qué desviaciones del funcionamiento normal de esos sistemas o qué funcionamientos defectuosos podrían provocar esos acontecimientos de riesgo. Para ello, resulta esencial hacer un examen más pormenorizado del sistema y de su modo de funcionamiento. El estudio sobre el riesgo y la capacidad de funcionamiento permite hacerlo. Este método se describe de manera detallada en el apéndice 3.

#### a) Concepto básico

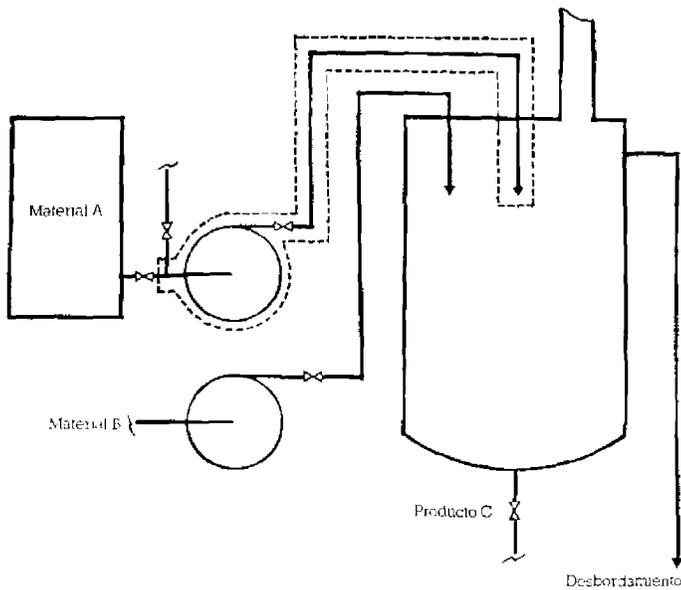
El estudio del riesgo y la capacidad de funcionamiento examina la totalidad del proceso, o por lo menos las partes del proceso que se han clasificado como «pertinentes» en el análisis preliminar. Cuestiona sistemáticamente cada parte del proceso para descubrir cómo se pueden producir desviaciones de la intención del diseño y decide si esas desviaciones podrían dar origen a situaciones de riesgo de accidente mayor.

El examen se concentra sucesivamente en cada parte del diseño. Cada parte se somete a varias preguntas formuladas en torno a una serie de palabras de referencia derivadas de técnicas de estudio de los métodos. En lo esencial, las palabras de referencia se utilizan para que las preguntas, que se formulan con el fin de poner a prueba la integridad de cada parte del diseño, sirvan para analizar cada forma concebible en que el diseño se podría desviar de su intención. Habitualmente, esto produce varias desviaciones técnicas y cada desviación se estudia luego para decidir cómo podría producirse y cuáles serían sus consecuencias.

Es posible que algunas de las causas sean poco realistas, y en ese caso las consecuencias derivadas se rechazarán por carecer de interés. Algunas de las consecuencias pueden ser triviales, y su examen no se proseguirá. Sin embargo, puede haber algunas desviaciones cuyas causas sean concebibles y cuyas consecuencias sean potencialmente graves. De éstas se ha de tomar nota para adoptar medidas correctivas.

Después de examinar una parte del diseño y de registrar todos los riesgos potenciales asociados con ella, el estudio pasa a concentrarse en la parte siguiente del diseño. El examen se repite hasta que se ha estudiado toda la planta.

**Figura 2. Ejemplo de un diagrama de fabricación**



Reacción  $A + B = C$

El componente B no debe exceder el componente A, para evitar una explosión

La parte de la planta examinada se indica con -----

El objetivo del examen es poner al descubierto todas las desviaciones posibles de la forma en que el diseño está destinado a funcionar y todos los riesgos asociados con esas desviaciones. Además, algunos de los riesgos se pueden evitar si la solución es evidente y no es probable que ocasione efectos negativos en otras partes del diseño, pudiéndose adoptar sobre la marcha la decisión de modificar el diseño. Sin embargo, esto no siempre es posible, en particular cuando puede resultar necesario, por ejemplo, obtener más información. En consecuencia, el resultado de los exámenes normalmente consiste en una mezcla de decisiones y de preguntas por contestar en reuniones posteriores.

#### b) Un ejemplo sencillo

Para ilustrar los principios del procedimiento de examen, se estudiará una planta en la que los productos químicos A y B reaccionan para formar un producto C, y se dará por supuesto que las reacciones químicas del proceso son tales que la concentración de materia bruta B nunca debe superar a la A o de lo contrario se producirá una explosión.

Remitiéndonos a la figura 2, comencemos, por ejemplo, por la tubería que se extiende desde el lado aspirante de la bomba que alimenta la materia prima A a

donde penetra en el recipiente de reacción (véase el apéndice 3 para una explicación de las palabras de referencia)

La intención define de qué manera se espera que funcione la pieza. Esta puede adoptar varias formas y puede ser descriptiva o esquemática. En muchos casos consistirá en un gráfico de fases de fabricación o en un diagrama lineal. En nuestro ejemplo, la intención se describe en parte por medio del diagrama del proceso de fabricación y en parte por las necesidades del proceso de control para transferir A a un ritmo determinado. La primera desviación es la que se produce al aplicar las palabras de referencia NO, o NO HACERLO a la intención. Esto se combina con la intención a indicar

**NO TRANSFERIR A**

A continuación se examina el diagrama del proceso de fabricación para determinar las causas que podrían provocar una suspensión completa del flujo de A. Esas causas podrían ser

- a) la cisterna de alimentación está vacía,
- b) la bomba no consigue girar debido a.
  - un fallo mecánico,
  - un fallo eléctrico;
  - que no está conectada, etc ;
- c) rotura de la tubería,
- d) cierre de la válvula de aislamiento.

Obviamente, por lo menos algunas de estas causas son concebibles, de modo que existe una desviación que tiene explicación.

A continuación se examinan las consecuencias. El cese total del flujo de A provocaría muy pronto un exceso de B sobre A en el recipiente de reacción y, en consecuencia, un riesgo de explosión. Por consiguiente, se ha descubierto un riesgo en el diseño, que se anota para examinarlo más a fondo.

La siguiente palabra de referencia que se ha de aplicar es MAS. La desviación consiste en que

**HA PASADO MAS A AL RECIPIENTE DE REACCION**

La causa podría consistir en que las características de la bomba pueden producir, en algunas circunstancias, un ritmo de flujo excesivo. Si se acepta esta causa como realista, se examinan las consecuencias.

- a) la reacción produce C contaminado con un exceso de A que pasa a la etapa siguiente del proceso;
- b) el flujo excesivo que pasa al recipiente de reacción significa que una parte de él saldrá del recipiente por desbordamiento.

Habrá que obtener más información para decidir si esas consecuencias constituirían un riesgo.

De la misma manera, se aplicarán otras palabras de referencia hasta que se haya examinado la tubería que introduce la materia prima A. El examen avanza luego hacia la parte siguiente del diseño y se repite con respecto a cada parte de éste.

### 3.1.1.3. Otros métodos de evaluación

Los métodos de evaluación que posibilitan la cuantificación de la probabilidad de un accidente y el riesgo asociado al funcionamiento de una planta se basan sobre la descripción gráfica de las secuencias del accidente. Esa descripción puede adoptar la forma, por ejemplo, del análisis de un ordinograma de fallos o de un ordinograma de sucesos, que se emplea para efectuar un análisis matemático de las secuencias de un accidente (Lambert, 1973; Fussell, 1976; Henley y Kumamoto, 1981).

Esos métodos se han utilizado para determinar la seguridad funcional de los sistemas electrónicos. Se han empleado también ampliamente en la industria nuclear, pero no resultan adecuados para la evaluación general de los riesgos principales debido a que su uso exige un considerable esfuerzo.

Si su aplicación pasa a ser necesaria para ciertas partes del control del proceso, se recomienda remitirse a las publicaciones más arriba citadas para más detalles.

### 3.1.1.4. Análisis de las consecuencias de los accidentes

Una evaluación del riesgo sólo queda completa si se conocen las consecuencias de un eventual accidente. Por este motivo, la última etapa de una evaluación del riesgo consiste en analizar las consecuencias que un potencial accidente importante podría tener en la propia planta, en los empleados, en las inmediaciones de la fábrica y en el medio ambiente. Los resultados del análisis se utilizan para determinar qué medidas de protección, tales como sistemas de lucha contra los incendios, sistemas de alarma o sistemas de reducción de la presión se han de instalar.

Un análisis de las consecuencias de un accidente debe contener los siguientes elementos:

- a) una descripción del accidente (rotura de una cisterna, rotura de una tubería, fallo de una válvula de seguridad, incendio),
- b) un cálculo de la cantidad de material liberado (tóxico, inflamable, explosivo);
- c) un cálculo de la dispersión del material liberado (gas o líquido en evaporación),
- d) un cálculo de los efectos (tóxicos, radiación térmica, onda de explosión).

Si bien los elementos a) y b) se pueden obtener utilizando los resultados de la evaluación del riesgo, para determinar los elementos c) y d) es necesario aplicar modelos (véase el apéndice 4).

## 3.2. Causas de los riesgos industriales graves

La evaluación del riesgo descrita en la sección 3.1 permite llegar a descubrir varias deficiencias potenciales del equipo físico y de las prácticas dentro y en torno a la planta. Una vez localizado esto, el fabricante tiene que determinar si se debe o no hacer algo al respecto.

Para ayudar al fabricante en este procedimiento, en las secciones siguientes se presentan ejemplos de deficiencias típicas seguidas de medidas de control adecuadas.

### 3.2.1. Fallos de los componentes

La condición previa fundamental para un funcionamiento seguro es que los componentes puedan resistir las cargas operacionales para proteger de ese modo cualquier sustancia potencialmente peligrosa. Entre las causas de los fallos o deficiencias cabe mencionar las siguientes.

- a) un diseño inadecuado en relación con la presión interna, las fuerzas externas, los medios corrosivos y la temperatura,
- b) un fallo mecánico de los recipientes o de las tuberías debido a la corrosión o a un impacto exterior,
- c) fallo de componentes tales como bombas, compresores, ventiladores impelentes o agitadores,
- d) fallo de los sistemas de control (sensores de la presión y la temperatura, controladores del nivel, medidores de flujo, unidades de control, ordenadores de procesos);
- e) fallo de los sistemas de seguridad (válvulas de seguridad, diafragmas protectores, sistemas de

desahogo de la presión, sistemas de neutralización, torres para combustión de gases sobrantes),

- f) fallos de las soldaduras y las bridas.

Cada una de estas causas puede provocar un accidente grave. Si se ha efectuado una evaluación del riesgo en la fase de planificación de la planta, la dirección de ésta debe decidir qué fallos requieren salvaguardias adicionales y dónde se ha de modificar o mejorar el diseño.

### 3.2.2. Desviaciones de las condiciones normales de funcionamiento

Si bien los fallos de los componentes se pueden evitar mediante un diseño meticuloso o el mantenimiento, las desviaciones de las condiciones normales de funcionamiento requieren un examen a fondo de los procedimientos operativos.

Pueden producirse las deficiencias siguientes, que provoquen desviaciones de las condiciones normales de funcionamiento:

- a) deficiencias en la vigilancia de los parámetros esenciales del proceso (presión, temperatura, flujo, cantidad, proporciones de mezcla) y en la obtención de esos parámetros;
- b) fallo en el suministro manual de los componentes químicos;
- c) fallos en los servicios, como:
  - i) insuficiencia del fluido refrigerante para reacciones exotérmicas,
  - ii) insuficiencia del vapor o medio de caldeo,
  - iii) falta de electricidad;
  - iv) falta de nitrógeno,
  - v) falta de aire comprimido (aire para los instrumentos);
- d) deficiencias en los procedimientos de puesta en marcha o parada, que podrían provocar una atmósfera explosiva dentro de la planta,
- e) formación de productos secundarios, residuos o impurezas, que podrían provocar reacciones parásitas (polimerización).

Las consecuencias de estos fallos o deficiencias únicamente se pueden entender después de examinar el comportamiento de todo el sistema en el caso de que se produzcan. Se pueden adoptar contramedidas por medio de un control del proceso seguro (automático o manual).

unos buenos procedimientos de explotación, una inspección adecuada y un programa de pruebas y ensayos.

### 3.2.3. Errores humanos y organizativos

La capacidad humana para dirigir una instalación que presente riesgos de accidentes mayores es de importancia fundamental no sólo para las plantas que requieren mucho trabajo manual, sino también para las plantas muy automatizadas que requieren la intervención del hombre únicamente en casos de emergencia.

Los errores cometidos por el personal operativo, sin embargo, pueden ser tan diversos como sus tareas en el manejo de la planta. A continuación se enumeran algunos de los errores más comunes:

- a) error del operario (botón erróneo, válvula errónea);
- b) sistemas de seguridad desconectados debido a la frecuencia de las falsas alarmas,
- c) error en sustancias peligrosas (error en la identificación de los materiales),
- d) errores de comunicación,
- e) reparación o trabajo de mantenimiento incorrecto,
- f) soldadura no autorizada.

Estos errores humanos se producen debido a que:

- a) el personal encargado del manejo no es consciente de los riesgos,
- b) el personal encargado del manejo está insuficientemente capacitado para el trabajo, o
- c) se espera demasiado del personal de explotación.

Para reducir los errores humanos y organizativos, la selección meticulosa del personal y la capacitación regular, conjuntamente con unas claras instrucciones sobre el manejo o funcionamiento de las máquinas, representan las características esenciales de la dirección del personal en los lugares donde existen riesgos importantes.

### 3.2.4. Interferencias externas accidentales

En cualquier instalación se puede producir un accidente mayor no sólo debido a deficiencias operativas, sino también a acontecimientos externos que pueden influir en la planta. Entre éstos cabe mencionar los accidentes relacionados con:

- a) el transporte por carretera y ferrocarril (especialmente de mercancías peligrosas),

- b) el tráfico naval;
- c) las operaciones de carga de sustancias inflamables/explosivas;
- d) el tráfico aéreo;
- e) las plantas vecinas, especialmente las que manipulan sustancias inflamables/explosivas, y
- f) los impactos mecánicos, como los causados por una carga que se cae

Por lo tanto, los accidentes no siempre se pueden evitar. No obstante, deben tomarse en consideración al estudiar el emplazamiento de la planta o al diseñar partes muy delicadas de ella.

### 3.2.5. Fuerzas naturales

Los impactos externos pueden ser causados por fuerzas naturales, entre las que tienen importancia las indicadas a continuación.

- a) el viento;
- b) las inundaciones;
- c) los terremotos;
- d) el asentamiento del terreno como resultado de explotaciones mineras;
- e) las heladas excepcionales;
- f) una luz solar excepcional;
- g) los relámpagos.

Quien tiene conocimiento de que en el medio ambiente natural de la instalación se producen esos fenómenos naturales, deben adoptarse las debidas precauciones.

### 3.2.6. Actos de sabotaje u otros actos que causan daños

En la instalación que presente un riesgo de accidente mayor puede ser el blanco de actos de sabotaje u otros actos nocivos realizados por el personal de la planta o por gente del exterior. La protección es difícil y nunca será perfecta. Con todo, debe tenerse en cuenta en el diseño.

### 3.2.7. Deficiencias adicionales

Se dispone de más información en listas de verificación relativas a deficiencias adicionales que pueden ocasionar accidentes (Instituto de Ingenieros Químicos de los Estados Unidos, 1985)

## 3.3. Funcionamiento seguro de las instalaciones que presentan alto riesgo

Después de examinar la evaluación de los riesgos y las causas de los accidentes principales, es necesario dar una idea de cómo se pueden controlar los riesgos. En consecuencia, en la presente sección se resumen los sistemas de control y las medidas de organización más importantes que se utilizan ampliamente para prevenir o frenar los riesgos principales. En el apéndice 5 figura una descripción más completa de las técnicas actuales en la esfera de la seguridad con respecto al gas licuado de petróleo, el almacenamiento del amoniaco anhidro y las instalaciones de cloro a granel.

### 3.3.1. Diseño de los componentes de la planta

En vista de los accidentes que se pueden producir como resultado de un diseño inadecuado de los componentes, se han de tener presentes los hechos siguientes. Un componente tiene que resistir:

- a) las cargas estáticas;
- b) las cargas dinámicas;
- c) la presión interna y externa;
- d) la corrosión;
- e) las cargas debidas a grandes diferencias de temperatura;
- f) las cargas debidas a impactos exteriores (viento, nieve, terremotos, asiento)

Estas cargas pueden, aunque ello no es imprescindible, incluirse en las normas de diseño aprobadas. Las normas del diseño son, por tanto, un requisito mínimo en lo que se refiere a las instalaciones que presentan riesgos de accidentes mayores. Esto es particularmente válido para los sistemas presurizados que contienen gases inflamables, explosivos o tóxicos o líquidos por encima de sus puntos de ebullición.

### 3.3.2. Funcionamiento y control

Cuando una instalación está concebida para resistir todas las cargas que se puedan producir en condiciones de funcionamiento normales o anormales previstas, la tarea de un sistema de control de los procesos consiste en mantener la planta en seguridad dentro de esos límites. Para lograrlo, se debe recurrir a sistemas como

- un control manual;
- un control automático;

- sistemas de parada automática,
- dispositivos de seguridad,
- sistemas de alarma.

La idea fundamental de un concepto de seguridad operativa es mantener la planta o el proceso en un estado de seguridad. La figura 3 muestra de qué manera un sistema de control mantiene un proceso variable dentro de los límites de seguridad cuando éste sale de su campo de variabilidad normal.

La variable del proceso controlada puede ser la temperatura, la presión, la magnitud de flujo, la proporción de mezcla de ciertos componentes, el porcentaje de aumento de la temperatura o un aumento o disminución de la presión. Los tres sistemas de control o protección actúan de la siguiente manera:

#### Primer sistema

Tan pronto como la variable del proceso pasa del valor límite establecido, esto se señala por medio de un dispositivo de vigilancia y se debe adoptar una medida de control (casi siempre manual). Si esta medida no da resultado y el proceso es tal que la variable no provoca un estado de riesgo de accidente mayor, no se necesita ningún otro sistema.

#### Segundo sistema

Cuando la variable supera el valor límite, el sistema de control pone en marcha una medida automática para

que la variable del proceso vuelva a su campo de variabilidad normal. Si el sistema no lo consigue, la variable puede alcanzar un valor que provoque un estado de riesgo de accidente mayor.

Cuando esto resulta posible, son necesarios otros dispositivos de protección, por ejemplo discos o válvulas de seguridad que actúan como sistemas de reducción de la presión, cubetas de desbordamiento y dispositivos de enfriamiento.

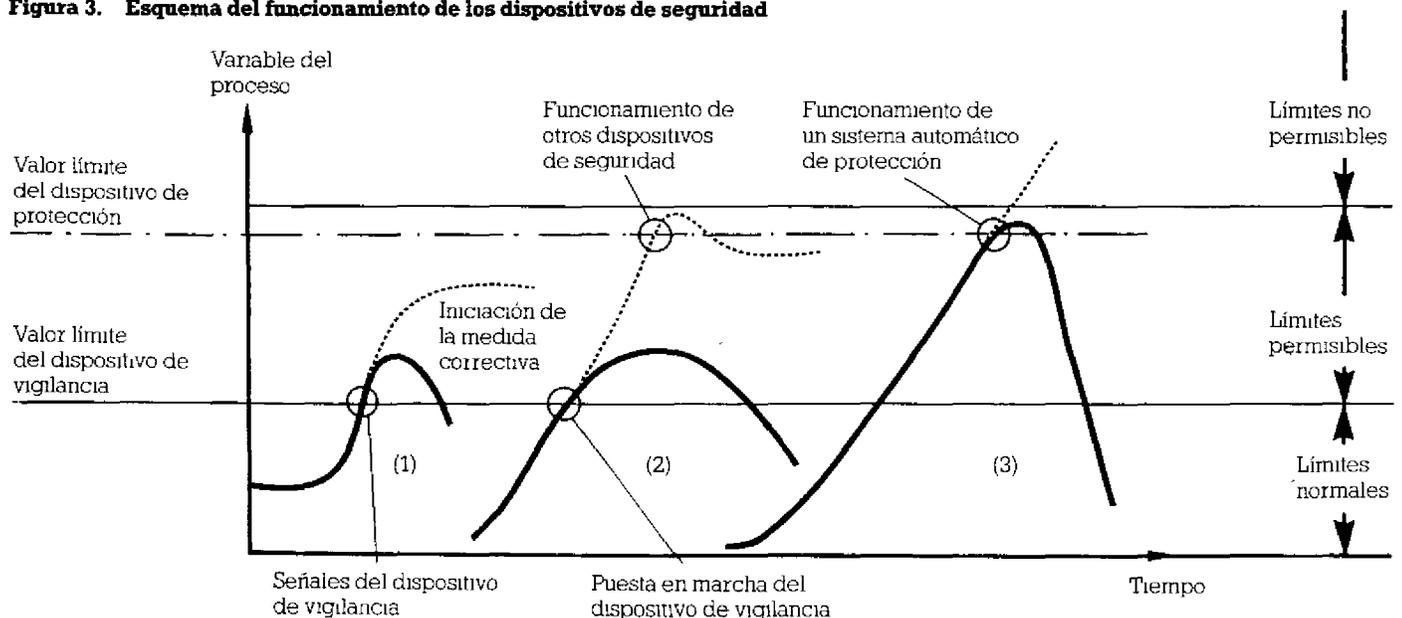
#### Tercer sistema

Si no existen dispositivos de seguridad como los mencionados más arriba o si las condiciones de peligrosidad de la variable del proceso pueden provocar un accidente importante, es necesario instalar un sistema de protección independiente que adopte medidas automáticas cuando el estado de riesgo se acerque.

Sirva de ejemplo la medición de la temperatura en el caso de un proceso químico que puede causar una reacción incontrolada. Tan pronto como se alcanza la temperatura peligrosa, el sistema inicia un enfriamiento adicional del proceso y añade un agente estabilizador de la reacción a la mezcla.

Para trabajar con esos sistemas de control, es necesario vigilar las variables del proceso y las partes activas de la planta, es decir, las bombas, los compresores y los ventiladores impelentes, teniendo presente el funcionamiento y las condiciones peligrosas como la presión excesiva.

**Figura 3. Esquema del funcionamiento de los dispositivos de seguridad**



Para que el personal operativo no tenga que depender exclusivamente del funcionamiento de sistemas automáticos, estos sistemas se deben combinar con alarmas acústicas u ópticas. Además, los operarios deben estar adecuadamente capacitados para conocer el modo de funcionamiento y la importancia de los sistemas de control.

Es sumamente importante comprender que cualquier sistema de control planteará problemas en condiciones de funcionamiento poco frecuentes, como las fases de puesta en marcha y parada. Se deberá prestar particular atención a estas fases del funcionamiento.

### 3.3.3. Sistemas de seguridad

Cualquier instalación que presente riesgos de accidentes mayores tendrá que disponer de alguna forma de sistema de seguridad. La forma y el diseño del sistema dependerán de los riesgos que presente la planta. A continuación se hace una descripción de los sistemas de seguridad disponibles y de sus fines.

#### 3.3.3.1. Sistemas para prevenir la desviación de condiciones de funcionamiento permisibles

##### a) *Sistemas de alivio de la presión*

Los discos y las válvulas de seguridad pueden liberar material en la atmósfera. Si el material liberado forma una mezcla explosiva con el aire, se debe cuidar que esa mezcla no entre en contacto con ninguna fuente de ignición antes de que se alcance el límite explosivo inferior. Si el material liberado es tóxico, se debe pasar a un sistema secundario, por ejemplo un sistema de extracción, un purificador de gases o una torre de antorcha, para no liberarlo directamente en la atmósfera.

##### b) *Sensores de temperatura/presión/flujo*

Los sensores de temperatura/presión/flujo en el proceso ponen en marcha mecanismos como el enfriamiento de emergencia, la incorporación de un estabilizador de la reacción o la apertura de un conducto de derivación.

##### c) *Sistemas de prevención de desbordamiento*

Los controles de nivel impiden el desbordamiento de los recipientes, ya que cierran la admisión de flujo del material o lo desvían.

##### d) *Sistemas de cierre de seguridad, sistemas de cierre de emergencia*

Se trata de sistemas que paran la planta (es decir, cierran las bombas y los compresores y cierran o abren

válvulas de ajuste rápido) para poner la planta en situación de seguridad. Estos sistemas se pueden poner en marcha automática o manualmente.

#### 3.3.3.2. Sistemas que evitan el fallo de los componentes relacionados con la seguridad

Los componentes relacionados con la seguridad pueden necesitar un equipamiento especial para lograr una mayor fiabilidad, en función de su importancia en el sistema de seguridad. La planta puede disponer de sistemas diferentes que asumen la función de esos componentes (diversidad) o puede haber un segundo componente que cumple el mismo cometido, por ejemplo una segunda bomba del líquido refrigerador (seguridad por redundancia).

#### 3.3.3.3. Servicios

Los suministros de servicios relacionados con la seguridad, tales como el suministro de electricidad para los sistemas de control, de aire comprimido para los instrumentos o de nitrógeno como gas inerte, podrían requerir una segunda fuente, por ejemplo pilas, una cisterna de almacenamiento de amortiguación o un conjunto adicional de cilindros para el gas insuflado en caso de fallo del sistema primario.

#### 3.3.3.4. Sistemas de alarma

Son sistemas que, por medio de sensores, permiten a los operarios determinar las causas de un mal funcionamiento tan pronto como se produce. Se dispone de sistemas de alarma para:

- a) vigilar los parámetros del proceso (temperatura, presión, magnitud del flujo, cantidad, nivel, proporción de la mezcla, contenido en O<sub>2</sub>);
- b) detección de deficiencias de los componentes relacionados con la seguridad (bombas, compresores, agitadores, ventiladores impelentes);
- c) detección de escapes (detectores de gas, explosímetros);
- d) detección de fuegos o hornos;
- e) detección de deficiencias de los dispositivos de seguridad (principio de la corriente permanente)

#### 3.3.3.5. Medidas de protección técnicas

Además de los sistemas de seguridad que ayudan a mantener la planta en un estado de seguridad, se pueden adoptar medidas de protección para limitar las

consecuencias de un accidente, entre las que cabe mencionar las siguientes.

- a) detectores de gases;
- b) sistemas rociadores de agua (para enfriar las cisternas o extinguir un incendio),
- c) chorros de agua;
- d) sistemas de dispersión de vapor,
- e) cisternas recolectoras y muros de protección.

#### 3.3.3.6. Medidas de mitigación

Para paliar las consecuencias de un accidente, conviene proyectar y adoptar las medidas de organización adecuadas que se describen en la sección 3.4.

#### 3.3.3.7. Prevención de los errores humanos y de organización

Como se indica en la subsección 3.2.3 los errores humanos pueden ser una fuente de accidentes graves. Por este motivo, es preciso abordar su prevención como una de las medidas de seguridad esenciales. A continuación se indican las medidas preventivas que pueden adoptarse

- a) empleo de conexiones de diferente dimensión en las estaciones de carga de los camiones cisternas para prevenir la mezcla de sustancias reactivas (por ejemplo, el ácido sulfúrico y el ácido nítrico);
- b) prevención de las mezclas de materiales por medio de un etiquetado, embalado, inspección de recepción y análisis apropiados,
- c) interconexión de válvulas y conmutadores relacionados con la seguridad que pueden no funcionar simultáneamente,
- d) marcado claro de los conmutadores, botones y los dispositivos visualizadores en los cuadros de mando,
- e) dispositivos adecuados de comunicación para el personal de la planta,
- f) salvaguardias contra conmutaciones por descuido,
- g) capacitación del personal.

#### 3.3.4. Mantenimiento y vigilancia

La seguridad de una planta y el funcionamiento de los sistemas relacionados con la seguridad sólo pueden tener la calidad que alcancen las funciones de mantenimiento y vigilancia de esos sistemas. Por esta

razón, es sumamente importante establecer un plan de mantenimiento y vigilancia de la planta que incluya las siguientes tareas.

- a) verificación de las condiciones de funcionamiento relacionadas con la seguridad tanto en la sala de control como en el recinto en general;
- b) verificación de las partes de la planta relacionadas con la seguridad en el lugar mismo, es decir, mediante la inspección visual o por medio de la vigilancia a distancia,
- c) vigilancia de los servicios relacionados con la seguridad (electricidad, vapor, líquido refrigerante, aire comprimido, etc.);
- d) preparación de un plan de mantenimiento y de una documentación del trabajo de mantenimiento en la que se especifiquen los diferentes intervalos del mantenimiento y el tipo de tareas que se han de ejecutar.

Además, el plan de mantenimiento y vigilancia debe especificar las calificaciones y la experiencia requeridas con respecto al personal que ha de cumplir esos cometidos.

#### 3.3.5. Inspección y reparación

Es necesario establecer un plan para efectuar inspecciones *in situ* que deben incluir un plan y las condiciones de funcionamiento que se han de respetar durante el trabajo de inspección.

Las reparaciones pueden ser una fuente importante de accidentes. En vista de ello, se deben especificar procedimientos estrictos para realizar los trabajos de reparación (por ejemplo, soldadura de componentes que contienen sustancias inflamables). Estos procedimientos deben abarcar los trabajos de reparación que requieren el paro de la planta y la limpieza de las cisternas, las calificaciones con que ha de contar el personal, las exigencias de calidad del trabajo que se ha de ejecutar y los requisitos relativos a la supervisión de las reparaciones. Debido a la importancia de este aspecto, muchos fabricantes establecen sus propias normas con respecto a los trabajos de reparación además de las normas nacionales que se puedan exigir.

#### 3.3.6. Capacitación

Si bien las medidas técnicas son esenciales para la seguridad de la planta, ninguna planta se puede diseñar de manera que funcione sin la intervención humana.

Dado que los seres humanos pueden tener una influencia tanto negativa como positiva sobre la seguridad de la planta, conviene reducir la influencia negativa y fomentar la positiva. Ambas metas se pueden lograr mediante la elección y capacitación adecuadas del personal, que debe incluir información sobre:

- a) los riesgos del proceso/las sustancias utilizadas;
- b) las condiciones posibles de funcionamiento, con inclusión de los procedimientos de puesta en marcha y parada;
- c) el comportamiento en caso de funcionamientos defectuosos o accidentes;
- d) la experiencia en otras plantas análogas, en particular con respecto a accidentes o en casos en que han estado a punto de producirse.

### 3.4. Mitigación de las consecuencias

Ninguna instalación que presente riesgos de accidentes mayores podrá ser nunca absolutamente segura. Incluso si se ha realizado una evaluación del riesgo, si se han detectado los riesgos y se han adoptado medidas adecuadas, la posibilidad de un accidente no puede suprimirse totalmente.

Por esta razón, el concepto de seguridad debe incluir la planificación y adopción de medidas que puedan mitigar las consecuencias de un accidente. Las medidas relacionadas con la planta ya se han examinado en la subsección 3.3.3.

Otras medidas para paliar las consecuencias de un accidente se relacionan principalmente con la reacción a un escape de una sustancia peligrosa. Para poder introducir contramedidas en caso de accidente, el fabricante tiene necesidad de:

- a) crear y capacitar a un cuerpo de bomberos, profesionales o voluntarios;
- b) establecer sistemas de alarma en línea directa con los bomberos o con las fuerzas de emergencia públicas;
- c) establecer un plan de emergencia que prevea:
  - i) el sistema de organización utilizado para actuar en la situación de emergencia;
  - ii) la alarma y las vías de comunicación;
  - iii) directrices para actuar en la situación de emergencia;
  - iv) información acerca de las sustancias peligrosas;

- v) ejemplos de posibles secuencias del accidente (en el capítulo 6 se presenta una descripción detallada del contenido de un plan de emergencia en el lugar donde se produce);
- d) llegar a un acuerdo con las autoridades respecto de la coordinación con su plan de lucha contra los accidentes;
- e) comunicar a las autoridades la índole y el alcance del riesgo que entraña un eventual accidente;
- f) proporcionar antidotos, en caso de producirse un escape de sustancias tóxicas (aunque de esto es más probable que se ocupen, si fuera necesario, los servicios médicos locales)

Todas estas medidas han de corresponder a los peligros determinados en la evaluación. Además, deben ir acompañadas de una capacitación apropiada del personal de la fábrica, las fuerzas de emergencia y los representantes responsables de los servicios públicos. Sólo la capacitación y los ensayos de situaciones de accidentes pueden dar a los planes de emergencia un carácter lo suficientemente realista para que funcionen en una situación concreta.

### 3.5. Presentación de informes a las autoridades

Según las disposiciones nacionales de diferentes países, es probable que se exija la presentación de un informe a las autoridades por parte del órgano de dirección de una instalación que presente riesgos de accidentes mayores. La presentación de informes se puede efectuar en las tres etapas siguientes.

- a) identificación/notificación de una instalación que presente un riesgo importante;
- b) preparación de un informe sobre seguridad;
- c) comunicación inmediata de los accidentes.

En las subsecciones siguientes se describen los diversos componentes de un sistema global de presentación de informes. Cada país tendrá que determinar el volumen de información que necesita para cumplir la función indicada en el capítulo 4

#### 3.5.1. Finalidad de la presentación de informes

El hecho de que una instalación sea o no clasificada como de alto riesgo depende de los tipos y cantidades de sustancias que utiliza, produce, almacena o manipula. La notificación a las autoridades de la existencia en el

lugar de sustancias químicas peligrosas que excedan las cantidades «provocadoras del accidente» es necesaria para determinar los peligros principales que corresponden al alcance de los controles adicionales descritos en el presente manual

La finalidad de la segunda etapa, la preparación de un informe de seguridad, consiste en presentar todo el sistema de seguridad. Esto da a las autoridades la posibilidad de a) verificar el respeto de las normas de seguridad como parte de cualquier decisión relativa a la concesión de licencias, b) realizar inspecciones concretas para conocer los riesgos de accidente que entrañan esas instalaciones, c) adoptar decisiones apropiadas sobre el emplazamiento de nuevas plantas, y d) establecer planes para casos de accidentes.

Por último, si se produce un accidente, puede ser necesario comunicarlo al instante a las autoridades. Este informe es complementario de la comunicación a las autoridades encargadas de manejar la situación de emergencia fuera del lugar, cuando resulte esencial un contacto inmediato

### **3.5.2. Contenido de los informes que se han de presentar a las autoridades**

#### **3.5.2.1. Identificación**

Para clasificar una planta como una instalación que presenta un riesgo de accidente mayor es necesaria la siguiente información acerca de

- a) el fabricante,
- b) la planta o fábrica (información general);
- c) las licencias de que se dispone;
- d) las sustancias peligrosas, sus nombres, cantidades y estado físico

#### **3.5.2.2. El informe sobre seguridad**

Si una planta se clasifica como instalación que presenta un riesgo de accidente mayor según los criterios indicados en el capítulo 2, puede resultar necesario preparar un informe sobre seguridad. Este es un informe dirigido a las autoridades acerca de la instalación y sus riesgos, y persigue los objetivos siguientes:

- a) determinar la naturaleza y el grado de empleo de sustancias peligrosas en la instalación,
- b) hacer una descripción de las disposiciones adoptadas con respecto al funcionamiento seguro de

la instalación, al control de desviaciones importantes que podrían provocar un accidente mayor y a los procedimientos previstos para casos de urgencia en el emplazamiento,

- c) determinar el tipo, la probabilidad relativa y las consecuencias de un eventual accidente mayor, y
- d) demostrar que el fabricante ha indicado que sus actividades pueden provocar un riesgo de accidente mayor y ha previsto medidas adecuadas.

El establecimiento de estos objetivos ayudará a la dirección y a las autoridades a evaluar la seguridad de la fábrica o planta.

En relación con el logro de los objetivos, un informe sobre seguridad cumple dos cometidos fundamentales. Primeramente, aporta información fáctica acerca del emplazamiento, los procedimientos y el entorno. En segundo lugar, realiza una evaluación de los riesgos que permite juzgar la naturaleza, probabilidad y magnitud de los accidentes mayores potenciales y de los medios para prevenirlos y combatirlos.

Por tanto, un informe sobre la seguridad, del que se da un ejemplo en el apéndice 6, debe contener la información siguiente:

#### *A Descripción de la instalación y de los procedimientos*

##### *1) Descripción de la instalación*

- a) emplazamientos
  - i) planos del emplazamiento,
  - ii) entorno (fábricas, vías de comunicación, edificios, hospitales, escuelas, etc.);
- b) construcción
  - i) materiales (sólo los que guardan relación con la seguridad);
  - ii) datos del proyecto (presión, temperatura, volumen),
  - iii) cimientos (estabilidad),
- c) zonas de protección (protección contra las explosiones, distancias de separación),
- d) accesibilidad a la planta
  - i) vías de escape,
  - ii) vías para los servicios de emergencia

## 2) Descripción de los procedimientos

- a) propósito técnico de la instalación;
- b) principios básicos de los procedimientos tecnológicos.
  - i) operaciones fundamentales;
  - ii) reacciones físicas y químicas,
  - iii) almacenamiento de funcionamiento;
  - iv) descarga, retención, reciclado o eliminación de los desechos;
  - v) descarga o tratamiento de los gases de escape,
- c) condiciones del proceso. descripción del proceso y datos relacionados con la seguridad (presión, temperatura) con respecto a cada etapa del proceso,
- d) descripción del proceso. la mejor manera de hacer esta descripción es por medio de diagramas del proceso adecuados (diagramas PI), que deben contener información sobre:
  - i) los componentes utilizados en el proceso;
  - ii) los suministros de servicios,
  - iii) las condiciones características del funcionamiento;
  - iv) la dimensión de los recipientes y tuberías que contienen sustancias peligrosas;
  - v) los sistemas de control de la presión;
- e) suministro de servicios: todos los tipos de servicios relacionados con la seguridad (electricidad, vapor, refrigerantes, aire comprimido, gas inerte), y, si se dispone de los datos, se deben describir los suministros de emergencia.

## B Descripción de las sustancias peligrosas

- 1) *Sustancias*
  - a) etapa del proceso en que se utilizan o se pueden utilizar las sustancias;
  - b) cantidades de las sustancias;
  - c) datos sobre las sustancias (físicos y químicos),
  - d) datos relacionados con la seguridad (límites de explosión, punto de inflamación, estabilidad térmica),

- e) datos toxicológicos (toxicidad, efectos, nivel del olor),
- f) valores umbrales (valor límite total, concentraciones letales)

- 2) *Forma de las sustancias*: la forma en que se presentan las sustancias o en que se pueden transformar en situaciones anormales.

## C Análisis preliminar del riesgo (APR)

Tomando como base la descripción del proceso y la descripción de las sustancias peligrosas, es posible determinar los riesgos y qué componentes, medidas de seguridad o intervenciones humanas pueden resultar importantes. Esto se puede llevar a cabo siguiendo el procedimiento descrito en la subsección 3.1.1.1.

El resultado de este análisis preliminar es una lista de los componentes, el equipo, las características de seguridad y las operaciones que podrían estar relacionadas con un eventual accidente mayor. A estos factores se los denomina «elementos relacionados con la seguridad».

## D. Descripción de los elementos relacionados con la seguridad

Es preciso describir con mayor detalle los elementos relacionados con la seguridad e indicados en el análisis preliminar del riesgo para poder efectuar la evaluación de éste. Se requieren los datos siguientes:

- a) función,
- b) tipo y magnitud de las cargas;
- c) importancia con respecto a la seguridad,
- d) criterios especiales de diseño,
- e) sistemas de control y alarma;
- f) sistemas de reducción de la presión;
- g) válvulas de cierre rápido,
- h) depósitos o cisternas de acopio o de vertido,
- i) sistemas de aspersión automática;
- j) protección contra incendios.

## E. Evaluación del riesgo

Una vez determinado el riesgo en el análisis preliminar y tomando como base toda la información de que se dispone acerca de la instalación, es decir, las secciones descriptivas del informe sobre seguridad, la

etapa siguiente consiste en realizar la evaluación del riesgo. Para que el lector pueda realizar esa evaluación, el presente manual contiene los medios auxiliares siguientes:

- a) métodos utilizados para la evaluación del riesgo, descritos en la subsección 3.1.1;
- b) las causas de los riesgos que se han de examinar, enumeradas en la sección 3.2, y
- c) los instrumentos de control de los riesgos de accidentes mayores, que se indican en la subsección 3.3.3

Como información adicional, la evaluación del riesgo debe incluir el historial conocido de los accidentes de la planta de que se trate y de otras plantas análogas de otros lugares.

Se recomienda seguir el método del estudio de los riesgos relacionados con el funcionamiento (RdF) en los elementos relacionados con la seguridad y que la documentación sobre el análisis de RdF se incluya en el informe sobre seguridad. Con fines de consulta, en el apéndice 3 se incluye un ejemplo de estudio RdF.

Si la evaluación permite identificar características particularmente sensibles (dispositivos de seguridad, instrumentos de control o medidas adoptadas por el personal encargado del funcionamiento), es necesario estudiar la fiabilidad de esas características. Este examen mostrará si se han adoptado precauciones suficientes para evitar accidentes mayores. Si no es así, habrá que mejorar las características delicadas de la planta puestas al descubierto.

#### F Organización

Los sistemas de organización utilizados para el funcionamiento seguro de una planta son factores importantes que se han de tomar en cuenta en la evaluación general de la seguridad de dicha planta. Estos sistemas deben incluir información sobre los aspectos siguientes:

- a) planes de mantenimiento e inspección,
- b) directrices con respecto a la capacitación del personal,
- c) asignación y delegación de responsabilidades en relación con la seguridad de la planta,
- d) aplicación de los procedimientos de seguridad

#### G Evaluación de las consecuencias de accidentes mayores

Mientras que las secciones A a E del informe sobre seguridad se ocupan de las medidas de seguridad técnicas y operativas, la presente sección proporcionará información sobre posibles accidentes. Se debe facilitar la información siguiente:

- a) evaluación de los posibles escapes de sustancias peligrosas o de energía
- b) posible dispersión de las sustancias liberadas,
- c) evaluación de los efectos de los escapes (superficie de la zona afectada, efectos sobre la salud, daños causados a los bienes).

Se dispone de algunos modelos físicos para facilitar estas evaluaciones. Existen varios documentos de consulta que dan más detalles sobre estos modelos (Havens y Spicer, 1984; Países Bajos, Dirección General de Trabajo, 1979). En el apéndice 4 se dan más detalles.

#### H Información sobre la mitigación de los accidentes importantes

Mientras que las medidas de seguridad en la planta incumben exclusivamente al fabricante, la mitigación de los accidentes importantes puede corresponder también a las autoridades. Por este motivo, es muy conveniente que las medidas de mitigación enumeradas en la sección 3.4 del presente manual se describan de manera pormenorizada y sean compatibles con las medidas adoptadas por las autoridades. Esto se aplica principalmente a:

- a) sistemas de alarma,
- b) planes de emergencia, y
- c) servicios de emergencia.

#### 3.5.2.3. Comunicación de los accidentes

Si se produce un accidente importante en un emplazamiento, el fabricante debe notificarlo inmediatamente a las autoridades. Esa notificación debe contener los datos siguientes:

- a) circunstancias del accidente,
- b) sustancias peligrosas relacionadas con el accidente,

- c) datos disponibles para evaluar los efectos del accidente sobre las personas y el medio ambiente,
- d) medidas de emergencia tomadas.

Además, la notificación debe señalar las medidas previstas para:

- a) mitigar los efectos en mediano y largo plazo del accidente, y
- b) prevenir la repetición del accidente.

Al notificar el accidente, se deben utilizar formularios como el de la Comisión Europea, que figura en el apéndice 7.

### **3.5.3. Actualización de los informes**

Quizás sea necesario actualizar los informes sobre seguridad si:

- a) se producen cambios importantes en la planta o el proceso,
- b) se dispone de nueva información pertinente acerca de las sustancias peligrosas, o
- c) se han conseguido mejoras sustanciales en la ingeniería de la seguridad.

En general, los informes se deben actualizar con regularidad cada tres a cada cinco años.