



guía técnica

ANÁLISIS DEL RIESGO EN LOS ESTABLECIMIENTOS AFECTADOS DE NIVEL INFERIOR

(en el ámbito del Real Decreto 1254/99 [Seveso II])



Dirección General
de Protección Civil
y Emergencias

UNIVERSIDAD DE MURCIA

José Ruiz Gimeno (Coordinador)
Francisco José Ruiz Escoda (Coordinador)
Enrique González Ferradao
Agustín Miñana Aznar
Inocencio Javier Ruiz Cartagena
Antonia García de Meriña Val

ANÁLISIS DEL RIESGO EN LOS ESTABLECIMIENTOS AFECTADOS

ANÁLISIS DEL RIESGO EN LOS ESTABLECIMIENTOS AFECTADOS DE NIVEL INFERIOR

(en el ámbito del Real Decreto 1254/1999 (Seveso II))

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
UNIVERSIDAD DE MURCIA

DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIAS
MINISTERIO DEL INTERIOR

2004

José Ruiz Gimeno (Coordinador)
Francisco José Ruiz Boada (Coordinador)
Enrique González Ferradás
Agustín Miñana Aznar
José Javier Ruiz Cartagena
Antonia Garcés de Marcilla Val

ANÁLISIS DEL RIESGO EN LOS ESTABLECIMIENTOS AFECTADOS DE NIVEL INFERIOR

(en el ámbito del Real Decreto 1254/1999 (Seveso II))

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
UNIVERSIDAD DE MURCIA

DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIAS
MINISTERIO DEL INTERIOR

2004

© Edita: Dirección General de Protección Civil y Emergencias. Ministerio del Interior
Servicio de Publicaciones. Universidad de Murcia

I.S.B.N.: 84-8371-499-X

Depósito Legal: MU-1885-2004

Fotografías de portada: E. Buitrago Martínez
J. J. Ruiz Cartagena
J. Ruiz Gimeno

Impreso en España - Printed in Spain

Imprime: F.G. GRAF, S.L.

fggraf@ono.com

Índice general

Prólogo	9
Capítulo 1. Introducción	11
1.1. Análisis del riesgo: concepto y utilidad	11
1.2. El análisis del riesgo en el Real Decreto 1254/1999	14
1.3. Contenidos del análisis del riesgo según la Directriz básica	17
1.4. Contenidos del análisis del riesgo en los establecimientos E ₇	19
1.5. Métodos de análisis de peligros	21
1.5.1. Enumeración y clasificación de los métodos	21
1.5.2. Problemática de la elección de un método para un establecimiento E ₇	24
1.5.3. Documentación sobre los distintos métodos	25
1.5.4. Criterios de selección	26
1.5.5. Selección y propuesta de métodos	28
Capítulo 2. Fundamentos de la metodología	31
2.1. Modelos de accidentes	32
2.2. El modelo propuesto en esta Guía	35
2.3. Análisis de los elementos del modelo	38
2.4. Identificación de peligros mediante las listas de comprobación	43
2.5. Secuencias accidentales: árboles de sucesos	48
2.6. Ejemplo resumido del procedimiento	50
2.6.1. Descripción de la instalación	50
2.6.2. Generación y uso de las listas de comprobación	53
2.6.3. Identificación y clasificación de los aspectos de riesgo	54
2.6.4. Escenarios accidentales	58
Capítulo 3. El uso de las listas de comprobación	67
3.1. Utilidad y limitaciones de las listas de comprobación	68
3.1.1. Identificación de peligros	69

3.1.2. Limitaciones del método	70
3.2. Estructura formal de las listas	71
3.2.1. Clasificación de las cuestiones	71
3.2.2. Contenido de las tablas	74
3.3. Procedimiento de análisis	75
3.3.1. Selección o elaboración de la lista	75
3.3.2. Desarrollo de las actividades de comprobación	77
3.3.3. Documentación de los resultados	77
3.3.4. Identificación de los peligros y de las funciones de seguridad	78
3.4. Necesidades de recursos	82
3.5. Inspecciones y auditorías de seguridad	83
3.5.1. Inspecciones de seguridad	83
3.5.2. Auditorías de los sistemas de gestión de la seguridad	84
Capítulo 4. El análisis mediante árboles de sucesos	87
4.1. Introducción a la técnica	88
4.1.1 Características esenciales	88
4.1.2 Terminología	89
4.1.3 Recursos necesarios	89
4.2. Procedimiento de análisis	90
4.2.1 Definición del sistema o de la actividad objeto de análisis	90
4.2.2 Identificación de los sucesos iniciadores de interés	92
4.2.3 Identificación de las funciones de seguridad y otros aspectos	93
4.2.4 Determinación de los escenarios de accidentes	94
4.2.5 Análisis de las consecuencias de cada escenario de accidente	96
4.2.6 Estimación de frecuencias o probabilidades de cada rama	97
4.2.7 Cuantificación y expresión de los resultados del análisis	98
4.2.8 Verificación de los resultados obtenidos en el análisis	99
4.2.9 Utilización de los resultados en la toma de decisiones	100
4.3. Aplicación de la técnica	100
4.4. Ventajas y limitaciones	103
4.5. Enfoques complementarios	104
4.5.1. El análisis de las capas de protección	104
4.5.2. Los análisis de la fiabilidad humana	106
Anexo. Instalaciones de almacenamiento de líquidos petrolíferos. Listas de comprobación	109
Referencias bibliográficas	127
Índice de tablas	137
Índice de figuras	139

Prólogo

Los establecimientos que manejan sustancias peligrosas poseen, en general, elevados niveles de seguridad; sin embargo, la gravedad de los accidentes que pueden producirse en sus instalaciones, unida a la gran repercusión social y a la incertidumbre que generan, viene motivando que exista por parte de las autoridades competentes y del sector industrial una gran sensibilidad y manifiesta preocupación orientada a reducir los riesgos potenciales de estas actividades. Esto conduce a generar líneas de actuación y mecanismos que faciliten el desarrollo e implantación de medidas –legales, técnicas, instrumentales,...– que refuercen tanto las acciones preventivas como las dirigidas a mitigar las consecuencias de los accidentes.

Entre otros aspectos, las medidas que se adoptan suponen mayores controles sobre los procedimientos industriales, una planificación ante el riesgo más consistente y una adecuada configuración, implantación y mantenimiento de los sistemas de gestión de la seguridad.

El estudio y la investigación han permitido adquirir un mejor conocimiento de las causas de los accidentes y han ayudado a establecer bases convenientes para prevenir su materialización y la extensión de sus efectos. Indudablemente, todo ello ha repercutido favorablemente en la gestión de la seguridad y en la planificación de las emergencias. En ambos casos el análisis del riesgo constituye una etapa fundamental, de extraordinaria utilidad para garantizar el funcionamiento, bajo condiciones seguras, de las instalaciones industriales. Así está contemplado en los Reales Decretos 1254/1999, de 16 de julio, y 1196/2003, de 19 de septiembre.

Como es conocido, en el primero de los Reales Decretos citados, se especifican, a efectos de su aplicación, dos tipos de establecimientos según el inventario de sustancias peligrosas presentes. Esta clasificación conduce a que los establecimientos cuyo inventario de sustancias es igual o superior a las cantidades de la columna 2, pero inferior a las de la columna 3, de las partes 1 y 2 del Anexo I del Real Decreto 1254/1999 –establecimientos de “nivel inferior”– estén sujetos a determinadas obligaciones, mientras que los establecimientos cuyo inventario de sustancias es igual o superior a las cantidades de la columna 3 –establecimientos de “nivel superior”– deben cumplir, además, con otras de mayor alcance.

Una de las obligaciones comunes a ambos tipos de establecimientos es la de elaborar un Plan de Autoprotección, que lleva consigo la realización del análisis del riesgo. Ahora bien, mientras el contenido de este análisis, para los establecimientos de “nivel superior”

está especificado en el Real Decreto 1196/2003, no ocurre así para los establecimientos de “nivel inferior”. La pregunta surge de inmediato ¿deberán estos establecimientos, en atención a su menor peligrosidad, –menor inventario de sustancias peligrosas presentes– realizar un análisis del riesgo de alcance inferior al exigible a los otros establecimientos? o, en cualquier caso, ¿cuál debe ser el contenido de dicho análisis?

Las respuestas a estas preguntas, fundamentadas por un lado, en el concepto y utilidad del análisis del riesgo y, por otro, en lo que se dispone respecto al mismo, en los Reales Decretos citados, da lugar a la propuesta de contenidos del análisis del riesgo, para los establecimientos de “nivel inferior”, que se formula en el capítulo 1 de esta Guía. Para su elaboración se deben contemplar cinco grandes apartados: Descripción del establecimiento, identificación de peligros de accidentes graves, cálculo de consecuencias, relación de accidentes graves potencialmente posibles y planos. El capítulo 1 se completa con un estudio comparativo de los métodos de análisis de peligros, orientado a recomendar aquellos que se consideran más adecuados para este tipo de establecimientos, situándose en lugar preferente los métodos de las listas de comprobación y del árbol de sucesos.

En el capítulo 2 se establece un modelo de accidente, se describen los elementos que lo constituyen y se fundamentan los pasos más significativos del proceso de aplicación de los métodos recomendados. Así mismo, se ofrecen pautas para su desarrollo, con referencia a una situación real como es el caso de una instalación de almacenamiento de líquidos petrolíferos.

Por último, en los capítulos 3 –dedicado a las listas de comprobación– y 4 –donde se trata el árbol de sucesos– se describen estos métodos, se comentan sus características más importantes, se exponen los requisitos básicos para su utilización y se indican sus ventajas, inconvenientes y los resultados que se pueden alcanzar.

Agradecemos, finalmente, a Jesús Martínez Alonso sus acertadas sugerencias y valiosa colaboración en la elaboración de esta Guía.

Los Autores

1.1. ANÁLISIS DEL RIESGO: CONCEPTO Y UTILIDAD

A pesar de que la terminología relativa al análisis del riesgo se utiliza a menudo con escaso rigor, existe un elevado nivel de aceptación de los conceptos involucrados en los términos que se citan a continuación. En un contexto general «riesgo» se define como la probabilidad de ocurrencia de un efecto adverso determinado sobre la salud humana, los bienes materiales o el medio ambiente, como consecuencia de la exposición a un «peligro» (ciertos productos químicos, tecnologías, fenómenos naturales,...) que puede materializarse a través de un suceso accidental. Se entiende por «análisis del riesgo» el uso de la información disponible para identificar los peligros existentes y estimar el nivel de riesgo presente. Por «evaluación de riesgos» se entiende el proceso por el cual se juzga la aceptabilidad del riesgo estimado. Finalmente, la «gestión de riesgos» es el proceso de decidir qué debería hacerse respecto a un peligro, a la población expuesta o a los efectos adversos, implantando la decisión y evaluando sus resultados. En IPCS (2004)¹ se recogen definiciones de los conceptos citados, propuestas por un grupo de trabajo de varios organismos internacionales.

Concretando los términos anteriores y con referencia a las instalaciones industriales, las preguntas básicas son las siguientes:

1. ¿Cuáles son los peligros?
2. ¿Qué sucesos accidentales podrían presentarse y cómo?
3. ¿Cuál es la probabilidad de que se presenten?
4. ¿Cuáles serían las consecuencias?

La figura 1.1 esquematiza el procedimiento normal para llevar a cabo una evaluación de riesgos. Tras una descripción del sistema, se procede a identificar y analizar los peligros (escenarios accidentales). Esta etapa precede a un estudio concurrente de la probabilidad y de las consecuencias de un accidente, lo que conduce a la estimación del riesgo. Si el riesgo es aceptable el estudio se considera completo y la instalación apta para ser construida u operada; en caso contrario el sistema debe modificarse y analizarse nuevamente.

¹ Las siglas indicadas en el texto pueden consultarse en el apartado de referencias bibliográficas.

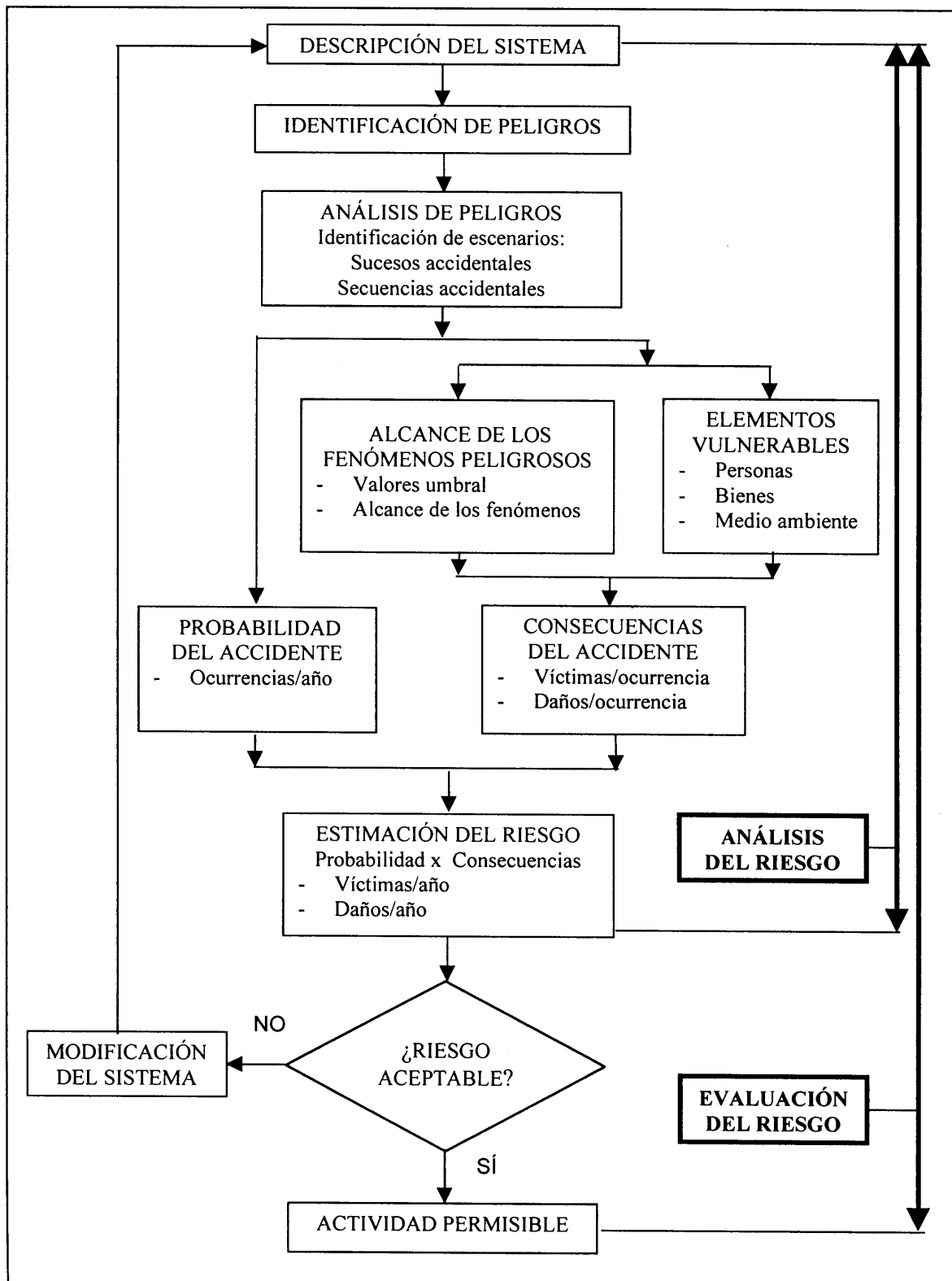


FIGURA 1.1. Procedimiento para llevar a cabo una evaluación de riesgos.

En resumen, si bien es posible detener el proceso de estudio en cualquiera de sus etapas, una evaluación de riesgos completa para un establecimiento industrial sería aquella que comprendiera los siguientes elementos:

1. Una descripción detallada de sus procesos e instalaciones, inventario de productos –iniciales, intermedios y finales– con sus propiedades peligrosas, sistemas de prevención y de protección, etc.
2. La identificación de los peligros presentes en las diferentes instalaciones.
3. La identificación de los accidentes potenciales, de sus previsibles sucesos iniciadores y de las secuencias de sucesos que pueden conducir a tales accidentes.
4. La cuantificación de la probabilidad de ocurrencia de los accidentes identificados.
5. Una estimación de las consecuencias de los accidentes identificados, obtenida mediante la consideración de las zonas de alcance y de los elementos vulnerables incluidos en esas zonas.
6. Una relación de los accidentes graves posibles.
7. La estimación del riesgo de los accidentes descritos, obtenida mediante la consideración de la probabilidad de ocurrencia y de las consecuencias de los mismos.
8. La comparación de los niveles de riesgo presentes con algunos criterios de aceptación procedentes de la legislación o de normas, códigos, guías o referencias emanadas de organismos nacionales o internacionales de reconocido prestigio.
9. Las decisiones respecto a la aceptación de los riesgos o la planificación de las acciones correctivas orientadas a disminuirlos hasta niveles aceptables desde el punto de vista de los criterios del punto anterior.

La utilidad de estos estudios depende obviamente del grado de profundidad que se alcance; no obstante, su contenido debería extenderse hasta permitir, como mínimo:

- Identificar los accidentes graves que podrían presentarse.
- Mejorar la seguridad de las instalaciones detectando aspectos en los que un sencillo cambio o la inclusión de un dispositivo de regulación o de un sistema de actuación de seguridad pueda reducir el riesgo de forma significativa.
- Ayudar a establecer el alcance de la formación que deben recibir los responsables de la operación de las instalaciones.
- Facilitar la redacción de prácticas de operación seguras.
- Orientar hacia las necesidades de equipos de protección individual y de las instalaciones fijas de protección.
- Informar acerca de las carencias en materia de elementos de detección y/o alarmas.
- Aportar la información necesaria para la planificación de las emergencias y para el establecimiento de los medios materiales y humanos necesarios para el equipo de primera intervención en caso de accidente.

Si el estudio ha llegado hasta sus últimas etapas, sus resultados son útiles para:

- Detectar necesidades de modificación sustancial de los procesos, instalaciones o sistemas de trabajo.
- Prever sistemas de alerta y/o evacuación para las poblaciones vulnerables del entorno.
- Planificar las emergencias exteriores y sus interfases con los planes de emergencia interior.
- Desarrollar criterios para la ordenación del uso del territorio.
- Evaluar el riesgo de que se presente el efecto dominó en el propio establecimiento o en otros.
- Detectar necesidades de personal con la responsabilidad y la formación necesaria para llevar a cabo labores de comunicación en caso de crisis.
- Aconsejar la implantación de pactos de ayuda mutua con los establecimientos del entorno.
- Gestionar la realización de simulacros con intervención de ayuda externa.
-

1.2. EL ANÁLISIS DEL RIESGO EN EL REAL DECRETO 1254/1999

El Real Decreto 1254/1999 por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas, no contiene en ningún momento la expresión «análisis del riesgo»; por el contrario, el concepto de «identificación y evaluación de los riesgos de accidente» se encuentra directamente citado en dos artículos y en uno de los Anexos de la disposición:

1. En el artículo 7.2.b, *Política de prevención de accidentes graves* donde se especifica que esta política debe *abarcar y reflejar los objetivos y principios de actuación generalesrelativos a:*

b) Identificación y evaluación de los riesgos de accidentes graves

 2. En el artículo 9.1.b, *Informe de Seguridad*, donde se especifica que debe demostrarse *que se han identificado y evaluado los riesgos de accidentes, con especial rigor en los casos en los que estos puedan generar consecuencias graves.....*
 3. En el Anexo III.2.ii, *Elementos a contemplar en los artículos 7 y 9 relativos a la gestión de seguridad y a la organización del establecimiento con miras a la prevención de accidentes graves*, en el que se exige que el sistema de gestión de la seguridad contemple *los siguientes elementos*

- ii) *Identificación y evaluación de los riesgos de accidentes graves. Adopción y aplicación sistemática de procedimientos tendentes a identificar los riesgos de accidentes graves y evaluar sus consecuencias.*

En otras ocasiones, si bien no se cita directamente el concepto, se especifican requisitos que sólo son posibles después de llevar a cabo dicha identificación y evaluación, como por ejemplo:



1. En el artículo 8.1, *Efecto dominó*, donde se establece que las autoridades competentes determinen *los establecimientos o grupos de establecimientos en los que la probabilidad y las consecuencias de un accidente grave puedan verse incrementadas debido a la ubicación y a la proximidad entre dichos establecimientos...*
2. En el apartado 3 del mismo artículo cuando se dice que *en los informes de seguridad se contemplarán aquellos accidentes que puedan producirse por efecto dominó, entre instalaciones de un mismo establecimiento.*
3. En el artículo 12.1.c, *Ordenación territorial y limitaciones a la radicación de los establecimientos*, cuando expresa la obligación de las autoridades competentes de controlar *las nuevas obras, realizadas en el ámbito de influencia territorial que se derive del estudio de seguridad del establecimiento...*
4. En el Anexo III.2.v, *Elementos a contemplar en los artículos 7 y 9 relativos a la gestión de seguridad y a la organización del establecimiento con miras a la prevención de accidentes graves*, donde se pide que se identifiquen las emergencias *previsibles según un análisis sistemático.*

Finalmente, en el párrafo segundo del apartado 1 del artículo 11, *Planes de emergencia*, al indicar que el contenido del *Plan de Autoprotección, denominado Plan de Emergencia Interior...se ajustará a lo especificado en la Directriz básica para la elaboración y homologación de planes especiales en el sector químico*, se exige, de forma indirecta la identificación de los riesgos de accidentes graves y de sus consecuencias (en el interior de las instalaciones), a todos los establecimientos sujetos a las disposiciones de este Real Decreto,

Esta Directriz mencionada en el citado Real Decreto ha sido sustituida por la Directriz Básica de Protección Civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas (Real Decreto 1196/2003, de 19 de septiembre).

En efecto, en la misma cuando en el artículo 1 se define el Plan de Autoprotección se incluye que, entre otros contenidos, *...comprende el análisis y evaluación de los riesgos...*

En todo lo que sigue, el símbolo E₇ se utiliza para designar a los establecimientos en los que están presentes sustancias peligrosas en cantidades iguales o superiores a las especificadas en la columna 2, sin llegar a alcanzar las indicadas en la columna 3, de las partes 1 y 2 del Anexo I del Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio. Para designar a los establecimientos en los que están presentes sustancias peligrosas en cantidades

TABLA 1.1. Comparación de requisitos aplicables a E₇ y E₉

Requisito	E ₇	E ₉
Política de prevención de accidentes graves	Definida y plasmada en un documento, comprendiendo los principios de actuación generales en relación con el control de los riesgos de accidentes graves, respecto a los elementos que se contemplan en el Anexo III (Artículo 7)	Debe demostrarse que se ha establecido una política de prevención de accidentes graves (Artículo 9)
Sistema de gestión de la seguridad	Apropiado, como los restantes medios y estructuras, para la puesta en práctica de la política de prevención. (Artículo 7)	Debe demostrarse que se ha establecido un sistema de gestión de la seguridad, para la aplicación de la política, de conformidad con los elementos que figuran en el anexo III (Artículo 9)
Informe de seguridad	No exigido, salvo lo previsto en el apartado 10 del artículo 9: determinados aspectos del informe de seguridad que puedan resultar necesarios para el cumplimiento de lo especificado en el artículo 7	Exigido con el contenido que se especifica en el artículo 9
Identificación y evaluación de riesgos	Debe definirse, documentarse y ponerse en práctica la política en relación con la identificación y evaluación de los riesgos de accidentes graves (Artículo 7)	Debe demostrarse que se han identificado y evaluado los riesgos de accidentes graves, con especial rigor en los casos en los que estos puedan generar consecuencias graves y que se han tomado las medidas necesarias para prevenirlos y limitar sus consecuencias (Artículo 9)
Planificación ante situaciones de emergencia.	Debe definirse, documentarse y ponerse en práctica la política en relación con la planificación ante situaciones de emergencia.(Artículo 7)	Debe demostrarse que se han elaborado planes de autoprotección y facilitar los datos necesarios que posibiliten la elaboración del plan de emergencia exterior a fin de tomar las medidas necesarias en caso de accidente grave.(Artículo 9)
Plan de Autoprotección	El Plan de Autoprotección se exige para E ₇ y E ₉ en el artículo 11	
Información y colaboración para la elaboración del Plan de Emergencia Exterior	No exigida	Exigida en los términos previstos en el artículo 11.
Información a la población relativa a las medidas de seguridad	No exigida	Exigida en los términos previstos en el artículo 13
Trámite de información pública	No exigida, bajo este Real Decreto	Exigida en los términos previstos en el artículo 13

iguales o superiores a las especificadas en la columna 3 de las partes 1 y 2 del citado Anexo, se usa el símbolo E₉.

A continuación se analizan los aspectos que en el Real Decreto 1254/1999 diferencian las obligaciones de los E₇ y los E₉, en lo relativo a la identificación y evaluación de riesgos, en atención a la menor cantidad de sustancias peligrosas presentes en los primeros.

En la tabla 1.1 se comparan las exigencias que afectan a uno y otro tipo de establecimientos, en los aspectos de *política de prevención de accidentes graves, sistema de gestión de la seguridad, informe de seguridad, identificación y evaluación de riesgos, planificación ante situaciones de emergencia, Plan de Autoprotección, información y colaboración para la elaboración del Plan de Emergencia Exterior, información a la población relativa a las medidas de seguridad y trámite de información pública de los proyectos*. De esta comparación pueden deducirse las siguientes conclusiones:

1. No hay ninguna mención explícita respecto a diferencias, en el alcance de la identificación y evaluación de riesgos, entre los establecimientos E₇ y E₉.
2. Como cabría esperar, la mayor peligrosidad de los E₉ frente a los E₇, hace que les sean aplicables un mayor número de artículos a los primeros e intensifica el nivel de exigencia de los requisitos comunes a ambos grupos.
3. La evaluación de las consecuencias de los accidentes en el exterior del establecimiento es estrictamente necesaria para el cumplimiento de algunos requisitos exigidos únicamente a los E₉. Este es el caso de lo relativo al Plan de Emergencia Exterior, a la información a la población sobre las medidas de seguridad y al trámite de información pública de los proyectos, sin perjuicio de lo establecido en la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación, en relación con este último trámite.

1.3. CONTENIDOS DEL ANÁLISIS DEL RIESGO SEGÚN LA DIRECTRIZ BÁSICA

En la Directriz básica de Protección Civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas, se establece, en el preámbulo del artículo 3, el alcance de la autoprotección:

«El Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas, establece que los titulares de los establecimientos afectados definan en un documento su Política de Prevención de Accidentes Graves y, en su caso, su Sistema de Gestión de Seguridad.

Además, los industriales están obligados a elaborar y presentar a la autoridad competente un plan de autoprotección, denominado plan de emergencia interior, que comprenderá el análisis y la evaluación de los riesgos, el establecimiento de objetivos de prevención, la definición de los medios corporativos humanos y materiales necesarios para la prevención y control, la organización de éstos y los procedimientos de actuación ante emergencias que garanticen la evacuación y/o confinamiento e intervención inmediatas, así como su integración en el sistema público de protección civil.

Y en el punto 3.3 de dicho artículo se indica:

.....

«El Plan de Autoprotección, denominado Plan de Emergencia Interior, de un establecimiento deberá contemplar la identificación de los accidentes que justifiquen su activación, basándose en un análisis de riesgos acorde con su grado de afectación o el informe de seguridad (en el caso de establecimientos afectados por el Artículo 9 del Real Decreto 1254/1999)»

El contenido mínimo del análisis del riesgo en el Plan de Autoprotección de un establecimiento afectado por el Real Decreto 1254/1999 se define en el punto 3.3.1 de este artículo, contemplando los siguientes extremos:

Descripción general

La descripción del emplazamiento, características constructivas y ocupación, accesibilidad y vías de evacuación, ubicación de medios externos, además del estudio de las instalaciones y zonas donde puedan estar presentes sustancias peligrosas.

Evaluación del riesgo

Se incluirá una descripción y justificación breve de los principios y metodología utilizados para la evaluación del riesgo y la determinación de los posibles accidentes susceptibles de activar el Plan de Autoprotección, indicando sus posibles consecuencias.

Planos

Se localizarán en planos a escala adecuada todos aquellos elementos que contribuyan al riesgo, incluyendo todos los elementos vulnerables que se consideren de interés. Los diferentes planos deben constituir un conjunto homogéneo en cuanto a escala, orientación y otros aspectos que faciliten su comprensión.

Por otro lado, cuando en el artículo 4 se describe el Informe de Seguridad, se especifica el contenido del análisis del riesgo que deben realizar los industriales de establecimientos E₉ y que en resumen es el siguiente:

- *Identificación de peligros de accidentes graves.*
- *Cálculo de consecuencias. Zonas de riesgo según valores umbralés.*
- *Cálculo de vulnerabilidad.*
- *Relación de accidentes graves identificados.*
- *Medidas de prevención, control y mitigación.*

1.4. CONTENIDO DEL ANÁLISIS DEL RIESGO EN LOS ESTABLECIMIENTOS E₇

Considerando lo expuesto acerca del contenido y la funcionalidad de un análisis del riesgo, y teniendo presente el estudio del Real Decreto 1254/1999 y de la Directriz básica realizado en los apartados anteriores, se han tenido en cuenta los siguientes criterios para seleccionar el contenido del análisis del riesgo en los establecimientos E₇:

1. El análisis del riesgo forma parte del Plan de Autoprotección lo que orienta a que su contenido, junto a su utilidad sustantiva de prevenir la aparición de circunstancias generadoras de un accidente grave, facilite criterios para gestionar los medios necesarios para hacer frente a una emergencia.
2. El contenido mínimo del Plan de Autoprotección de los establecimientos afectados por el Real Decreto 1254/1999 está especificado en el artículo 3 de la Directriz básica.
3. El contenido del análisis del riesgo sólo está definido para los establecimientos E₉, como ya se ha indicado, dentro del Informe de Seguridad, en el Artículo 4 de la citada Directriz.
4. En principio, para un establecimiento E₇, puede aceptarse que el análisis del riesgo posea un alcance inferior al exigible en los E₉, en virtud de la menor cantidad de sustancias peligrosas presentes y de no tener que facilitar en primera instancia, documentación específica para la elaboración de Planes de Emergencia Exterior, la información al público o el trámite de información pública de sus proyectos.
5. Si las circunstancias particulares de un establecimiento E₇ lo hicieran aconsejable –peligrosidad de sus procesos, vulnerabilidad de su entorno, etc.– y en virtud del apartado 10 del artículo 9 del Real Decreto, el órgano competente podría exigir a su titular un análisis del riesgo de una profundidad análoga al de un establecimiento E₉.

Por tanto, se propone para los E₇ un análisis del riesgo, como parte del Plan de Autoprotección, con el contenido que se recoge en la tabla 1.2:

TABLA 1.2. Contenido del análisis del riesgo para los establecimientos E₇

<p>1. Descripción del establecimiento</p> <p>1.1. Identificación y características.</p> <p>1.1.1. Nombre o razón social del industrial y dirección completa del establecimiento (<i>Notificación, punto b</i>).</p> <p>1.1.2. Nombre o cargo del responsable del establecimiento y datos para su localización (<i>Notificación, punto d</i>).</p> <p>1.1.3. Actividad ejercida o actividad prevista en el establecimiento (<i>Notificación, punto f</i>).</p> <p>1.1.4. Plantilla total y su distribución por turnos e instalaciones.</p> <p>1.1.5. Emplazamiento y descripción del entorno (<i>Notificación, punto i</i>).</p> <p>1.1.6. Accesibilidad y vías de evacuación.</p> <p>1.1.7. Ubicación de medios externos.</p> <p>1.2. Descripción de los procesos e instalaciones.</p> <p>1.2.1. Descripción de los procesos (sustancias, operaciones, condiciones de operación y/o almacenamiento, etc.).</p> <p>1.2.2. Relación de sustancias y/o productos peligrosos (<i>Notificación, punto e</i>), con indicación de las transformaciones físicas y/o químicas que pueden generar riesgos.</p> <p>1.2.3. Características constructivas de los locales.</p> <p>1.2.4. Datos de diseño de los equipos y de las tuberías que contienen, procesan o transportan sustancias peligrosas.</p> <p>1.3. Medidas de protección y mitigación disponibles.</p> <p>2. Identificación de peligros de accidentes graves</p> <p>2.1. Alcance y metodología.</p> <p>2.2. Documentación de referencia.</p> <p>2.3. Descripción de los métodos utilizados.</p> <p>2.4. Relación de sucesos iniciadores y de secuencias accidentales.</p> <p>3. Cálculo de consecuencias</p> <p>3.1. Metodología empleada.</p> <p>3.2. Alcance de los accidentes analizados.</p> <p>4. Relación de accidentes graves potencialmente posibles</p> <p>4.1. Relación de accidentes.</p> <p>4.2. Recursos tecnológicos para evitar o mitigar sus consecuencias.</p> <p>4.3. Procedimientos previstos en el Plan de Autoprotección para dichos sucesos.</p> <p>5. Planos</p> <p>5.1. General de la planta.</p> <p>5.2. Implantación.</p> <p>5.3. Esquema de flujo del proceso.</p> <p>5.4. Esquemas de tuberías e instrumentación.</p> <p>5.5. Actuaciones de seguridad: alarmas y enclavamientos.</p> <p>5.6. Alcance de los accidentes graves.</p>
--

En relación al contenido expuesto, se pueden hacer las siguientes observaciones:

1. Los datos del apartado 1 y los planos 5.1 a 5.5 constituyen la información técnica indispensable en cualquier establecimiento y, en su mayoría, habrán sido recopilados por el industrial como parte del contenido de la Notificación obligatoria, de acuerdo con el Artículo 6 y el Anexo II del Real Decreto 1254/1999.
2. El desarrollo del apartado 2 requiere la utilización de métodos de análisis de peligros adecuados a las características de los establecimientos E₇ y a las exigencias legales a que se hallan sometidos. La consideración de los métodos de análisis que podrían aplicarse a esta finalidad, constituye el objeto del siguiente apartado, mientras que los fundamentos de la metodología recomendada se justifican en el capítulo 2.
3. Para estimar el alcance de los accidentes se podrá utilizar alguno de los métodos de cálculo de consecuencias propuestos en las Guías Técnicas o los modelos científica e internacionalmente aceptados. Los planos 5.6 recogerán los resultados de la aplicación de los modelos y establecerán las zonas afectadas.
4. El punto 1 del apartado 4 emana de los resultados obtenidos en los dos apartados anteriores. Los puntos 2 y 3 se incluyen con el fin de que el análisis del riesgo sea un documento autoconsistente, si bien su desarrollo detallado deberá incluirse en los capítulos correspondientes del Plan de Autoprotección.

1.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE PELIGROS

1.5.1. Enumeración y clasificación de los métodos

La literatura relativa al análisis del riesgo recoge numerosos métodos que difieren tanto por la modalidad y el alcance del análisis que llevan a cabo, como por su propia naturaleza (Andrews, 1999; Baybutt, 2003; Bernuchon, 2001; CCPS, 1992; Crowl, 1990; DGPC, 1994a, b y c; Kletz, 1992; Lees, 2001; Michison, 1999; Santamaría, 1994 y Storch de Gracia, 1998). Entre estos se pueden encontrar los que permiten la identificación y el análisis de peligros. Una primera clasificación de los mismos se recoge en la tabla 1.3.

En el grupo de *Métodos cualitativos* se incluyen herramientas destinadas a analizar la significación de situaciones peligrosas asociadas con un proceso o actividad, sin recurrir a cálculo alguno. Son técnicas orientadas a la identificación de los puntos débiles en el diseño o la operación de las instalaciones que podrían conducir a accidentes. En algunos casos –listas de comprobación, auditorías de seguridad– pretenden detectar las deficiencias, con respecto a lo especificado, en el diseño, la construcción, la operación, el mantenimiento y/o la gestión de la prevención. En otros –HAZOP, árboles de sucesos o de fallos– se estudia la reacción del sistema ante la aparición de una o varias alteraciones respecto a sus condiciones de operación normales.

Se clasifican como *Métodos semicuantitativos* aquellos que permiten una graduación de las diversas áreas de una instalación, o una valoración del conjunto de la instalación, en función de su potencialidad para causar daño, calculada a partir de una serie de criterios y valores asignados a los elementos y circunstancias peligrosas.

Los *Métodos para la estimación de frecuencias* arrancan de la identificación de las secuencias accidentales o de la concatenación de fallos necesaria para que se produzca un accidente; esa primera etapa es simplemente cualitativa, lo que hace que también figuraran dentro del primer grupo. La diferencia estriba en que, disponiendo de la frecuencia de los fallos o de la probabilidad de actuaciones elementales, son capaces de estimar la probabilidad de ocurrencia del suceso no deseado. Combinados con los análisis de consecuencias constituyen la metodología del análisis de riesgos, propiamente dicha.

TABLA 1.3. Clasificación de los métodos de análisis de peligros según su utilidad

1. Métodos cualitativos
Análisis histórico de accidentes
Listas de comprobación (<i>Check lists</i>)
Análisis preliminar de riesgos
Análisis ¿Qué pasaría si...? (<i>What if...</i>)
Análisis funcional de riesgos y operabilidad (HAZOP)
Análisis del modo de los fallos y sus efectos (<i>FMEA/FMEAC</i>)
Árbol de fallos (opción cualitativa)
Árbol de sucesos (opción cualitativa)
Análisis causa-consecuencias (opción cualitativa)
Auditorias de seguridad (<i>Safety audits</i>)
2. Métodos semicuantitativos
Índice DOW
Índice Mond
Variaciones del método Gretener (<i>ERIC, FRAME, ...</i>)
Índices de riesgos de procesos químicos (I.N.S.H.T.)
3. Métodos para la estimación de frecuencias/probabilidades
Análisis de la capa de protección (<i>LOPA</i>)
Índices de frecuencias
Árbol de fallos
Árbol de sucesos
Análisis causa-consecuencias

Una segunda clasificación, que atiende a la naturaleza del método, se encuentra en la tabla 1.4.

Los *Métodos comparativos* se fundamentan en el examen de una instalación desde la experiencia acumulada, tanto en el diseño y operación de plantas semejantes – en cuanto a productos o procesos involucrados–, como en el análisis de incidentes o accidentes ocurridos en las mismas.

Los *Métodos generalizados* proporcionan sistemas de análisis aplicables, en principio, a cualquier situación, lo que los convierte en herramientas versátiles y de amplia utilización. Salvo en el caso del *árbol de fallos*, que es de naturaleza inductiva, todos emplean un razonamiento deductivo para determinar el estado final de la instalación tras uno o varios sucesos anómalos.

TABLA 1.4. Clasificación de los métodos de análisis de peligros según su naturaleza

1. Métodos comparativos
Análisis histórico de accidentes
Listas de comprobación (Check lists)
Auditorias de seguridad (<i>Safety audits</i>)
2. Métodos generalizados
Análisis ¿Qué pasaría si...? (<i>What if...</i>)
Análisis preliminar de riesgos
Análisis funcional de riesgos y operabilidad (HAZOP)
Análisis del modo de los fallos y sus efectos (<i>FMEA/FMEAC</i>)
Análisis de la capa de protección (<i>LOPA</i>)
Árbol de fallos
Árbol de sucesos
Análisis causa-consecuencia
3. Índices de riesgo
Índice DOW Índice Mond
Variaciones del método Gretener (<i>ERIC, FRAME,</i>)
Índices de frecuencias
Índices de riesgos de procesos químicos (I.N.S.H.T.)

La calificación de la naturaleza de los métodos –deductivos o inductivos– no es homogénea entre las fuentes estudiadas. Así el método del árbol de sucesos se califica en ocasiones de «inductivo» (DGPC, 1994a, b y c) y en otras de «deductivo» (Storch de Gracia, 1998). De la misma manera, el método del árbol de fallos se califica frecuentemente como «deductivo» (Santamaría, 1994; DGPC, 1994a, b y c), pero es posible encontrar algún autor que lo describe como «inductivo» (Storch de Gracia, 1998).

Las razones de esta discrepancia residen probablemente en las diferentes formas de interpretar la utilidad de estos árboles y el proceso mediante el que se construyen los mismos. Si un árbol de fallos se construyera desde la base hacia el vértice –desde las causas individuales hacia el efecto máximo (*top event*) se estaría empleando una forma de

razonamiento deductiva (causas → efecto); como, en la práctica, el árbol se va construyendo al revés – descendiendo desde el efecto máximo hasta las causas individuales– se utiliza un sistema de razonamiento inductivo (efecto → causa).

Un consideración análoga cabe para el caso del árbol de sucesos. Dado que se construye desde un suceso iniciador hasta sus consecuencias, se emplea un sistema de razonamiento deductivo (causa → efectos); cuando se utiliza para identificar la cadena de sucesos que pueden acabar en una situación peligrosa, se progresa en el árbol a través de una cadena inductiva (efecto → causa).

En resumen, entendiendo que es el método de elaboración del árbol lo que califica su naturaleza, asignaríamos el calificativo de «inductivo» al árbol de fallos y el de «deductivo» al árbol de sucesos.

Los *Índices de riesgo* se basan en asignar una penalización numérica a la presencia de determinados factores de riesgo, en las unidades de una instalación, a la vez que se bonifican las medidas preventivas de la misma.

1.5.2. Problemática de la elección de un método para un establecimiento E_7

En general, se requiere un buen conocimiento de los métodos para decidir con respecto a la naturaleza de la información que facilitan y a su ámbito de aplicación (tipo de instalación, fase de la vida de la misma, etc.).

Por otro lado, es difícil encontrar información completa y fiable sobre la relación entre los resultados de la aplicación del método y los medios que éste exige para su desarrollo (nivel de detalle de la documentación previa, experiencia sobre su aplicación, medios humanos, etc.).

Pero, además, en el caso de la selección del método más adecuado para identificar los peligros en un establecimiento E_7 , así como los puntos débiles y/o los sucesos iniciadores, y las secuencias que podrían conducir a un accidente, el proceso presenta algunas dificultades:

- Algunos de los métodos sólo se diferencian en el grado de detalle del análisis. Este hecho hace que la frontera entre éstos sea, con frecuencia, difusa.
- En la mayor parte de ellos existe la posibilidad de realizar el análisis a diferentes niveles de profundidad, lo que introduce incertidumbres respecto al nivel mínimo exigible.
- Aunque es frecuente hallar enumeradas las ventajas e inconvenientes de los diversos métodos, no es fácil establecer criterios para ponderar unas y otros.

No obstante, se hace necesario establecer un proceso de selección, que permita finalmente recomendar aquél o aquellos métodos de especial eficacia y eficiencia para su aplicación por los establecimientos E_7 .

Las etapas esenciales del proceso de selección se describen a continuación:

1. Documentación sobre los distintos métodos.
Consiste en identificar qué tipo de información ha de obtenerse acerca de cada una de las opciones y debe realizarse teniendo siempre presentes los objetivos que ha de satisfacer el método finalmente seleccionado.
2. Descripción de los criterios de selección.
Los criterios que deben ser satisfechos por el método seleccionado se eligen teniendo presentes las características presumibles en los establecimientos E_7 , el contenido del análisis del riesgo propuesto en la tabla 1.2 y los objetivos de la aplicación del método. Los criterios se dividen en «excluyentes» (aquellos aspectos que deben estar obligatoriamente presentes o ausentes) y «favorables» (aquellos cuyo cumplimiento aporta valor al método).
3. Valoración de los criterios favorables.
Dado que los criterios elegidos suelen tener una importancia diferente, es preciso establecer alguna medida del grado relativo de esa importancia, siempre en función de la aplicación de los métodos en los establecimientos E_7 .
4. Examen de los métodos a la luz de los criterios.
Consta de dos actividades; por un lado la aplicación de los criterios excluyentes permite eliminar los métodos que los incumplen; por otro, se examina el grado en el que cada uno de los métodos no excluidos satisface cada uno de los criterios favorables.
5. Ponderación del cumplimiento de los criterios favorables.
A cada uno de los métodos no excluidos se le asigna un valor numérico de acuerdo con su nivel de satisfacción del criterio. Estos valores se multiplican por el índice numérico del grado de importancia del criterio, acumulándose las sumas parciales para cada método.
6. Clasificación de los métodos y selección.
Las sumas acumuladas permiten establecer una clasificación de los métodos, de modo que es posible determinar los niveles relativos de satisfacción de los criterios elegidos.

1.5.3. Documentación sobre los distintos métodos

Antes de decidir respecto a la información que debe obtenerse de cada uno de los diferentes métodos de análisis, cabe preguntarse ¿qué características debe poseer un método que resulte especialmente recomendable para su aplicación en los establecimientos E_7 ?

En el caso particular de estos establecimientos, se considera positivo en un método de análisis del riesgo el hecho de que:

- Se pueda desarrollar con un coste razonable.
- Sea de fácil aplicación.
- No requiera una formación específica del usuario.
- Resulte aplicable tanto en la fase de diseño como en las de puesta en marcha, operación, etc.
- No subestime los riesgos presentes.
- Se encuentre avalada por la extensión de su utilización.
- Considere la posibilidad de los errores humanos.
- Logre establecer los peligros y los sucesos iniciadores.
- Conduzca a la identificación de las secuencias accidentales.
- Permita detectar las áreas con mayor acumulación de riesgo.
- Señale las necesidades de mejora de los sistemas.
- Precise de una información previa fácilmente disponible.
- Pueda aplicarse a cualquier instalación.

Teniendo presentes las características citadas, se ha recopilado información relevante sobre los métodos de análisis del riesgo que contempla tres bloques de datos:

- Características del método
- Recursos necesarios para su aplicación
- Resultados del método

Cada uno de estos bloques incluye diversos aspectos, algunos de los cuales presentan información general y otros han sido seleccionados teniendo siempre presente el uso potencial del método:

- Utilización para la identificación de peligros y la determinación de sucesos iniciadores y de secuencias accidentales.
- Identificación de los accidentes graves potencialmente posibles.

1.5.4. Criterios de selección

Los criterios de selección se han elegido teniendo presentes:

- Las características que podrían esperarse razonablemente en los establecimientos E₇, –menor potencial de riesgo, amplia diversidad de situaciones productivas, mayor generalización de funciones técnicas, limitaciones para ejecutar análisis técnicos, ...–
- El contenido del análisis del riesgo propuesto, y
- Los objetivos de la aplicación del método –identificar los peligros, los sucesos iniciadores, las secuencias accidentales, ...–.

Teniendo en cuenta los aspectos arriba relacionados, se han excluido aquellos métodos que evalúan las frecuencias, así como los métodos semicuantitativos –tabla 1.3–. Esta decisión se adopta al considerar que van más allá de la finalidad indicada, suponen una mayor complejidad, requieren un mayor esfuerzo –documental, técnico, económico, etc.– o, en algunos casos, no cubren los objetivos básicos –identificar los peligros y los sucesos iniciadores–. En consecuencia, son los métodos cualitativos sobre los que procede valorar el cumplimiento de los criterios favorables.

El procedimiento de selección empleado aconseja que el número de estos criterios que se maneje simultáneamente no sea excesivo. Las numerosas características identificadas como positivas en el apartado 1.5.3, hacen aconsejable su agrupamiento en criterios más generales con la finalidad de posibilitar un análisis más correcto.

Así pues, se han definido como *criterios favorables* los tres siguientes:

Aplicabilidad: Una metodología satisface este criterio en la medida en la que resulta aplicable a cualquier establecimiento, en cualquiera de sus fases (diseño, operación, etc.), por su propio personal técnico, aunque este carezca de formación específica en análisis de riesgos, y a partir de la información disponible en el establecimiento sobre la instalación, los métodos de trabajo y los sistemas de gestión.

Fiabilidad: Una metodología se considera fiable cuando, basándose en un alto nivel de estructuración, es capaz de identificar todos los peligros presentes en un establecimiento, sin subestimar su magnitud, contando con la posibilidad de los errores humanos y determinando las secuencias accidentales a través de las cuales pueden materializarse los peligros.

Eficiencia: La eficiencia de una metodología se mide por la relación entre la calidad del análisis efectuado y los medios, esencialmente humanos, puestos en juego para aplicarla. En el concepto de calidad del análisis se incluyen aspectos relacionados con los resultados obtenidos por el método: identificación de todos los peligros, determinación de las secuencias accidentales, evaluación del orden de importancia de los fallos, propuesta de las medidas correctoras necesarias y consideración de la posibilidad del error humano.

A la hora de valorar el nivel de cumplimiento, por los diferentes métodos no excluidos, de los criterios favorables, es necesario considerar todos los elementos que los constituyen. Así, teniendo presentes las definiciones recogidas anteriormente, se ha elaborado la tabla 1.5 en la que se concretan los elementos que se consideran incluidos en cada criterio.

TABLA 1.5. Relación de elementos incluidos en los criterios favorables elegidos

Criterio favorable	Elementos incluidos
Aplicabilidad	¿Aplicable a cualquier establecimiento? ¿Aplicable en cualquier fase? Documentación necesaria. ¿Aplicable por personal propio?
Fiabilidad	¿Analiza errores humanos? ¿Identifica todos los peligros presentes? ¿Establece los sucesos iniciadores? ¿Determina las secuencias accidentales?
Eficiencia	<i>Calidad de los resultados:</i> ¿Analiza errores humanos? ¿Identifica todos los peligros presentes? ¿Establece los sucesos iniciadores? ¿Determina las secuencias accidentales? ¿Ordena la importancia de los fallos? ¿Clasifica áreas en función del riesgo? ¿Orienta hacia las medidas preventivas?
	<i>Recursos necesarios</i> Documentación necesaria. ¿Aplicable por personal propio? Necesidad de horas.hombre.

1.5.5. Selección y propuesta de métodos

Esta fase final de selección y propuesta de métodos se inicia estableciendo una valoración relativa de la importancia de los tres criterios favorables.

A continuación, se examina el grado en el que cada uno de los métodos satisface a los diferentes criterios, teniendo en cuenta todos los elementos incluidos en los mismos. Para ello se fijan tres niveles de satisfacción según que el método satisfaga completamente, sólo en parte o escasamente el elemento considerado.

De forma similar al caso de la valoración relativa de los criterios, la asignación del nivel de satisfacción ha sido consecuencia de una reflexión crítica apoyada en la información obtenida sobre los métodos y orientada a su potencial aplicación a los establecimientos E₇. El resultado de este estudio comparativo ha permitido concluir que, para alcanzar la finalidad buscada, se sitúan en lugar preferente los métodos del árbol de sucesos y de las listas de comprobación.

Así, mediante la utilización de las listas de comprobación se pueden identificar los peligros latentes en un establecimiento y asociarlos a los elementos que constituyen el modelo de accidente que se propone en el capítulo siguiente, facilitando la determinación de los posibles sucesos iniciadores.

Ahora bien, en determinadas instalaciones, la utilización de las listas de comprobación exclusivamente, no llevaría a considerar con la profundidad requerida todos los puntos débiles que podrían manifestarse y cuál sería su evolución posterior. Por ello se recomienda en esta Guía complementar el método de las listas de comprobación con el de los árboles de sucesos, de mayor alcance en el análisis.

Como resultado de la aplicación del método del árbol de sucesos, se puede llegar a identificar situaciones peligrosas y a describir con claridad las posibles secuencias accidentales. Además, al comparar los diferentes escenarios, se pueden seleccionar aquellos que resulten más creíbles y de mayor gravedad, con el fin de proceder al análisis de consecuencias. Por otro lado, al contemplar las respuestas de los sistemas de operación y de seguridad, se pueden detectar las carencias y, por tanto, establecer las medidas correctoras.

A continuación, en el capítulo 2, se establecen los fundamentos de la metodología propuesta, se comentan los elementos más significativos del proceso que se ha de seguir hasta completar esta parte del análisis del riesgo y se ofrecen pautas para su aplicación, incluyendo un ejemplo resumido del procedimiento.

El enlace entre las listas de comprobación –identificación de peligros– y los árboles de sucesos –desarrollo de escenarios accidentales– se describe en los capítulos 3 y 4 dedicados a estos métodos.

Fundamentos de la metodología

Cualquier aproximación racional a la identificación de peligros de una instalación debería basarse en el entendimiento del mecanismo o proceso a través del que se producen los accidentes. La primera parte de este capítulo trata de establecer un modelo de ese mecanismo o, si se prefiere, de dibujar lo que podría llamarse el esquema del proceso de un accidente. La obtención de un modelo de accidentes ayuda a:

- Entender con más claridad los factores que contribuyen a un accidente y a sus consecuencias.
- Establecer qué elementos deberían estar presentes para evitar la manifestación de esos factores.
- Investigar, en caso de accidente, qué lo ha activado y cómo han cumplido esos elementos su labor de evitarlo o mitigarlo.

La consideración de la naturaleza del mecanismo de los accidentes permite observar sus aspectos característicos: los peligros inherentes a las sustancias o energías involucradas, las condiciones que hacen posible la presencia de un riesgo, el suceso capaz de desencadenar una situación peligrosa, los mecanismos de alerta y control de esa situación, etc. La segunda parte del capítulo propone el empleo de las listas de comprobación como un método adecuado para identificar esos aspectos en una instalación dada.

Las consecuencias últimas de un accidente no pueden deducirse de la simple enumeración de los aspectos cuya identificación se propone en el párrafo anterior; es preciso analizar en qué momento y cómo deben actuar, adónde conduciría su fallo, qué condiciones mitigarían o agravarían sus consecuencias, etc. En la tercera parte del capítulo se justifica la propuesta de la técnica conocida como análisis del árbol de sucesos, como adecuada para estudiar las posibles secuencias, resultados y estados finales de un incidente potencialmente grave.

El capítulo finaliza con un ejemplo de aplicación de la metodología a una instalación de almacenamiento y distribución de combustibles líquidos, de las reguladas por la Instrucción Técnica Complementaria MI-IP02 «Parques de almacenamiento de líquidos petrolíferos» (Real Decreto 1562/1998). El número de estas instalaciones en España

es elevado, en especial tras la aprobación de la Ley 34/1992, de 22 de diciembre de Ordenación del Sector Petrolero, cuyo objetivo fundamental era la liberalización de las actividades de este sector.

2.1. MODELOS DE ACCIDENTES

Para la elaboración de sus respectivos modelos, los analistas han observado algunas características que se presentan, de modo recurrente, en los accidentes de las industrias de proceso químico (Kletz, 1988 y 1990; Kim, 2003):

1. Es necesaria una particular conjunción de circunstancias (sucesos y/o estados) para que se produzca el accidente.
2. Antes de que se produzca esa combinación de circunstancias, puede requerirse un largo periodo de incubación.
3. Suelen ir precedidos por incidentes menores (*near misses*), en los que se han dado algunas de las circunstancias anteriores, pero no todas las necesarias.
4. Una vez que se ha producido el suceso crítico, sus consecuencias pueden variar entre límites muy amplios. En algún caso puede que no haya daños personales, mientras que en otro, similar al primero en la mayoría de los aspectos, hay alguna circunstancia clave que agrava las consecuencias.

A continuación se comentan de modo somero algunos de los modelos de accidentes útiles a los fines de esta Guía. En su mayor parte se basan en una secuencia temporal de los sucesos y se representan gráficamente con una estructura de árboles lógicos.

En los modelos más sencillos se considera que son necesarios tres elementos para que se presente el accidente: (1) un receptor sensible, (2) una fuerza impulsora y (3) un mecanismo activador. Las principales fuerzas impulsoras son la energía y los productos tóxicos. Existe una intensidad umbral, por debajo de la cual la fuerza impulsora no provoca efectos sobre el receptor sensible. El mecanismo activador tiene también un valor umbral, por debajo del cual no es capaz de actuar. El modelo se completa con otros parámetros tales como la probabilidad de que estén presentes los tres elementos necesarios, la eficiencia del contacto –la fracción de la fuerza impulsora que alcanza al receptor sensible– y la eficacia del contacto –la relación entre el daño que ha sufrido el receptor y el que habría sufrido en condiciones normalizadas–.

Un avance respecto de los modelos anteriores se encuentra en los que se basan en el concepto de que es posible definir para el sistema un estado de operación normal y, por tanto, desviaciones respecto a ese estado, que están asociadas al peligro de accidente. En la mayoría de estos modelos (Lees, 2001) se utiliza un árbol lógico para combinar el suceso iniciador con los posibles fallos de protección por los operadores o por los propios equipos, con las medidas de mitigación, etc.

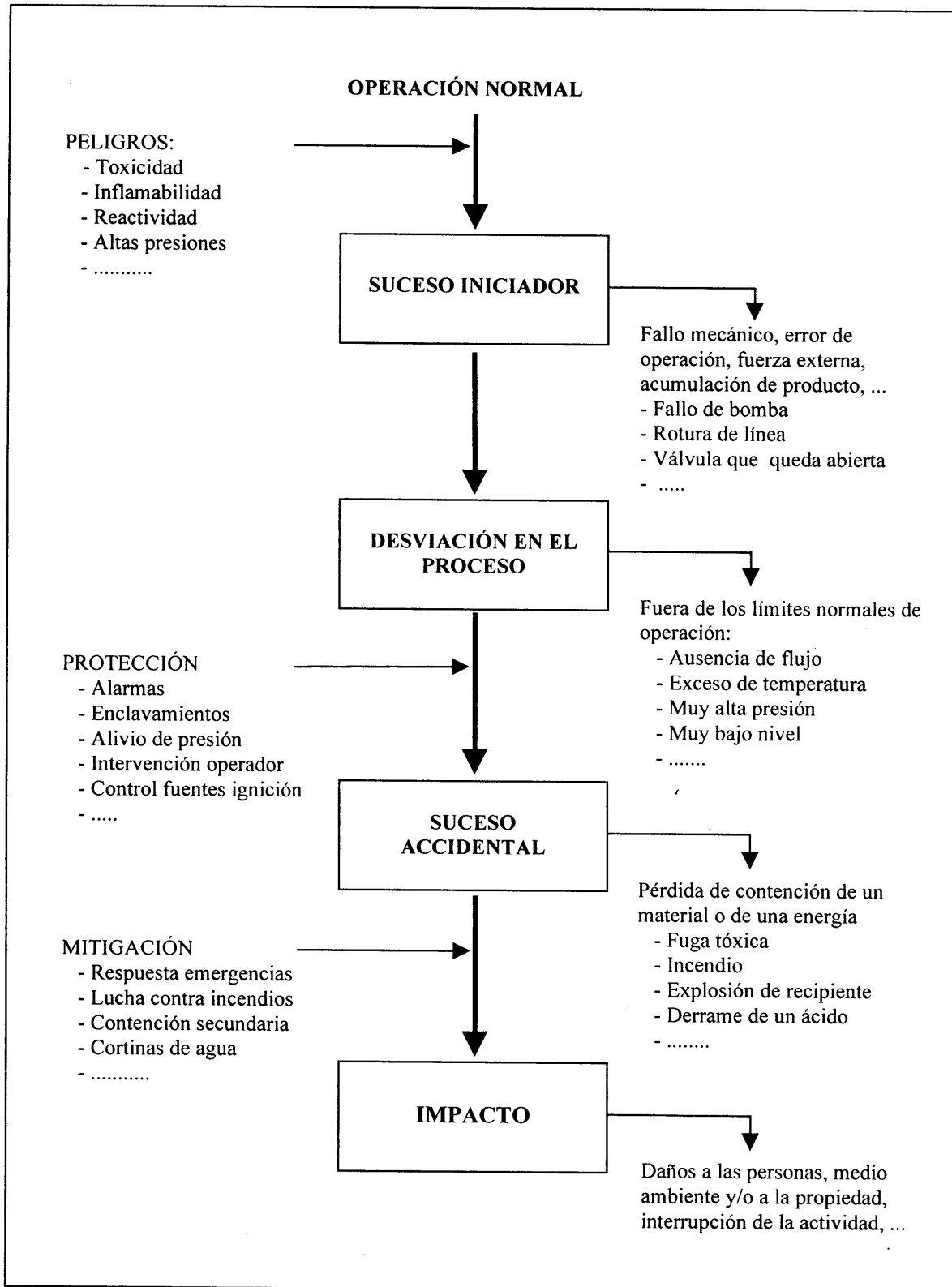


FIGURA 2.1. Escenarios de accidentes industriales

La figura 2.1 (DOE, 1993) representa un buen ejemplo de uno de estos modelos; en él se considera que cada secuencia de fallos y de condiciones que conducen a un suceso accidental es un único escenario. Cada escenario de accidente incluye un suceso iniciador o causa (p. ej. fallo humano o mecánico), una o varias desviaciones en el proceso, un suceso accidental o consecuencia, y un impacto (lesiones y/o daños a la propiedad o al medio ambiente). Las medidas de protección se emplean para evitar que ocurra el accidente, mientras que las de mitigación pueden reducir la severidad del impacto.

El concepto de condiciones que predisponen al accidente, en su versión más general de condiciones latentes (Lees, 2001), representó un avance notable en el modelado de escenarios accidentales. Algunos ejemplos de estados latentes que pueden desencadenar o facilitar el suceso iniciador, así como impedir las acciones de protección o mitigación, son: equipos que se han deteriorado de forma paulatina e inadvertida, instrumentos que se encuentran en estado de fallo pasivo y no detectado, modificaciones en la instalación insuficientemente difundidas, instrucciones de operaciones infrecuentes mal recordadas, etc.

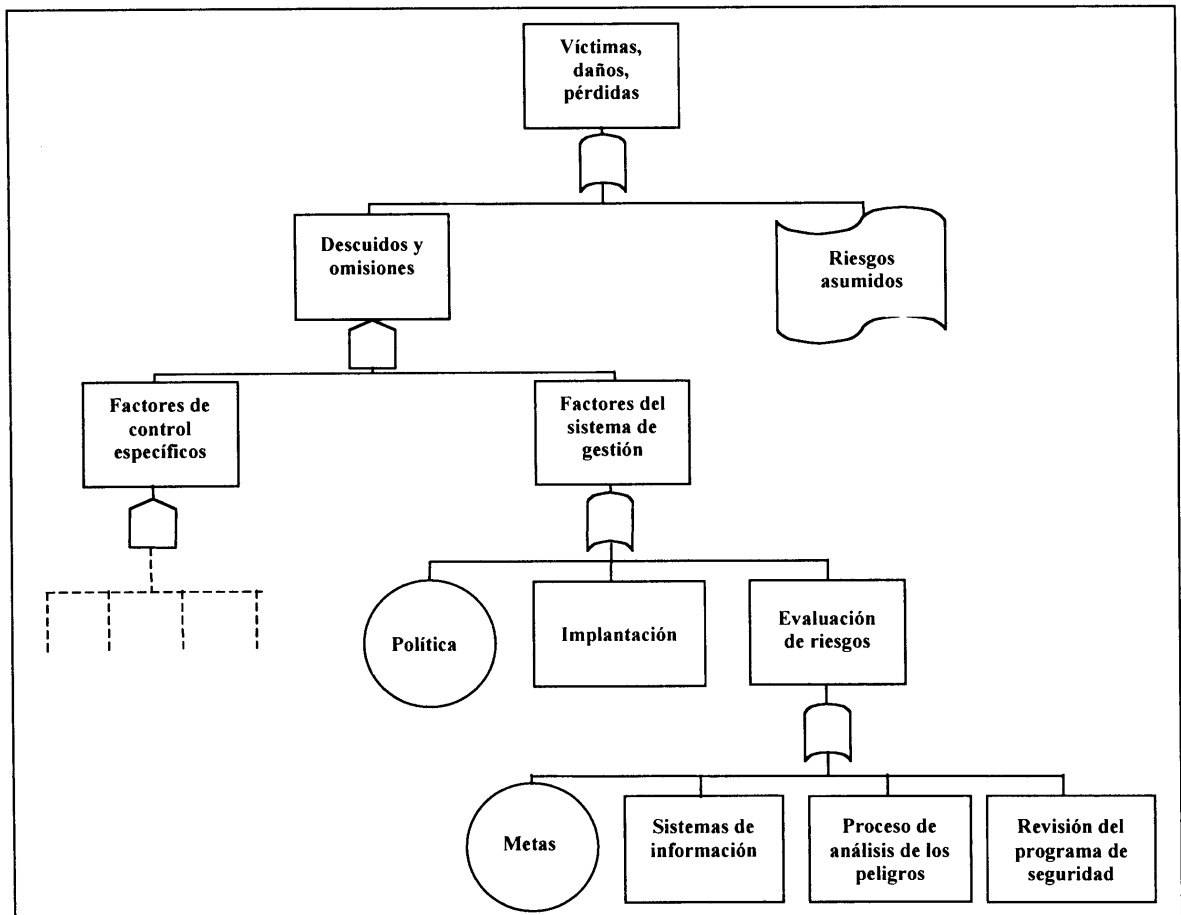


FIGURA 2.2. Vértice del árbol de fallos del modelo M.O.R.T.

La conveniencia de contemplar en el modelado de un accidente las causas raíz del mismo propició la integración de los aspectos de gestión de la seguridad. El modelo *MORT* (*Management Oversight and Risk Tree*) (Lees, 2001) proporciona un sistema de seguridad ideal representado como un árbol lógico que contiene factores de control específicos y aspectos generales de gestión. En la figura 2.2, que muestra el vértice del árbol desplegando la parte correspondiente a los aspectos del sistema de gestión, cada bloque representa las deficiencias en ese aspecto; debe leerse, por tanto, como: «Política inferior a la adecuada», «Implantación inferior a la adecuada», etc.

2.2. El modelo propuesto en esta Guía

Representado en la figura 2.3, el modelo que se propone en esta Guía tiene su origen en el estudio de los presentados en la bibliografía y en el análisis de numerosos accidentes industriales (CEPPO, 2002; CSB, 1998a y b; HID, 2004; Fewtrell, 1998;). Como cualquier otro, está orientado a ordenar y entender con claridad los factores que contribuyen a un accidente y a sus consecuencias, así como a determinar qué elementos permiten eliminar o mitigar esos factores. Aunque no es su utilidad sustancial, también facilita el análisis sistemático de las causas de cualquier accidente industrial.

Se han integrado directamente en el modelo algunos elementos propios de un sistema de gestión de la prevención de accidentes graves; tal es el caso de la evaluación de riesgos y de la planificación ante situaciones de emergencia. La influencia de otros elementos está también presente, aunque de forma menos explícita; en este caso se encuentran el control de la explotación (prácticas de operación, elementos de acción automática,...) y la adaptación de las modificaciones (diseño y conservación de la instalación).

En el modelo se supone que la *operación normal* es consecuencia de un adecuado *diseño y conservación de la instalación* (Koller, 2000; Kletz, 2003) y de unas correctas *prácticas de operación*. No es casual que la cúspide del modelo la ocupe la *evaluación de riesgos*, puesto que debe interactuar, desde los primeros pasos y a lo largo del ciclo de vida, con el diseño y conservación de la instalación y con las prácticas de operación.

La aparición de una *desviación en el proceso* se contempla como consecuencia de una intervención externa o de una condición latente (en estos dos aspectos se engloba el concepto «suceso iniciador» de la mayoría de los modelos). No son aspectos mutuamente excluyentes: en ocasiones una actuación externa «normal» provoca una desviación en el proceso a causa de que una o varias condiciones latentes han ido mermando la «robustez» de la instalación.

El orden de actuación de los aspectos *control manual* y *acción automática* merece algún comentario. En modo alguno se afirma en el modelo que, ante una desviación en el proceso, *siempre* interviene en primer lugar un operador. En el caso más general, los sistemas de control automático de la planta tratarán de restablecer las condiciones ante-

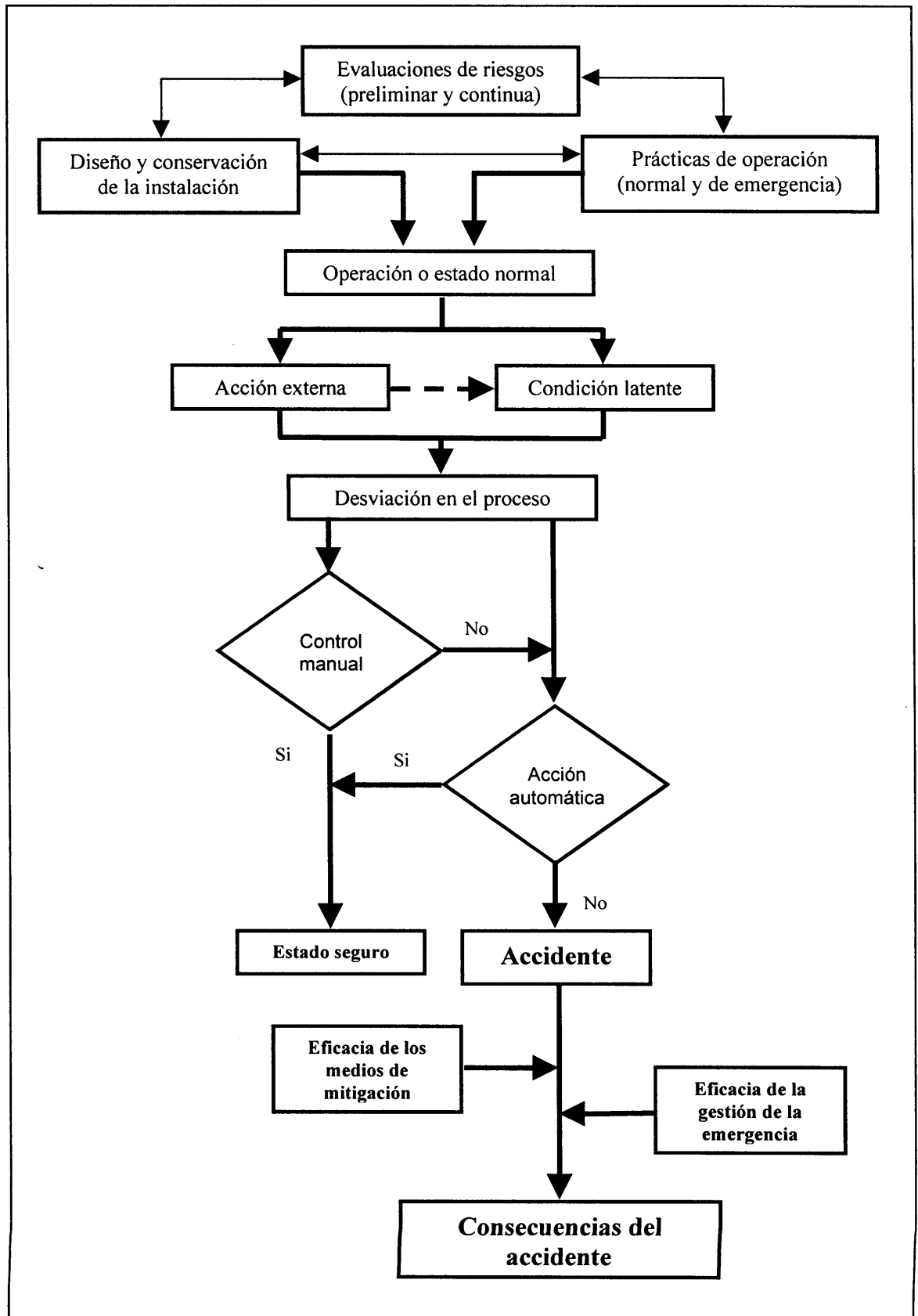


FIGURA 2.3. Esquema del proceso de un accidente industrial.

riores a la desviación y, sólo si no lo consiguen, alertarán al operador mediante alarmas. En el modelo, el aspecto *acción automática* hace referencia a los dispositivos que protegen al sistema *cuando todo lo anterior ha fallado* (válvulas de seguridad, por ejemplo).

El concepto de *accidente* coincide con la definición del artículo 3 del Real Decreto 1254/1999 (*Cualquier suceso, tal como una emisión en forma de fuga o vertido, incendio o explosión importantes.....que suponga una situación de grave riesgo.....*). Así, la emisión de una nube tóxica extensa o la rotura de un tanque de líquido inflamable, se consideran accidentes en el modelo, con independencia de cuáles sean sus consecuencias finales.

Es la *eficacia de los medios de mitigación* la que puede conseguir, por ejemplo, que una nube inflamable no encuentre un foco de ignición o que un líquido se quede contenido en su cubeto. Por último, la *eficacia en la gestión de la emergencia* puede determinar de modo muy significativo la duración y el alcance de las magnitudes peligrosas, así como la protección de los elementos sensibles en las áreas afectadas por el accidente.

El modelo hace intervenir explícitamente a las *condiciones latentes* sólo entre las causas que provocan o que facilitan una desviación en el proceso. Esto no significa que el modelo pase por alto el papel que otras *condiciones latentes* pueden jugar en el desarrollo del escenario accidental. Una alarma anulada, un operador insuficientemente entrenado, una válvula de seguridad mal tarada o una instalación de lucha contra incendios mal diseñada o mantenida, son ejemplos de *condiciones latentes* que pueden ejercer una influencia determinante en la evolución del escenario accidental.

El análisis de un accidente real (CSB, 2003), utilizando la terminología del modelo, contribuirá a clarificar el alcance de sus elementos y las conexiones entre ellos.

En un establecimiento se trasiega cloro líquido desde vagones cisterna hasta una instalación de llenado de botellas de 65 kg y de botellones de 1 tonelada. Los tubos flexibles, con los que las tuberías fijas se conectan a las válvulas del vagón cisterna, tienen un tubo interno de teflón, un refuerzo estructural trenzado de Hastelloy C-276 (paña soportar la presión) y una espiral de protección externa de polietileno. Por un error en el proceso de adquisición de repuestos, algunos de los tubos flexibles tienen el refuerzo estructural trenzado de acero inoxidable 316L (*diseño y conservación de la instalación*). La ligera permeabilidad del teflón a las moléculas de cloro, en combinación con la humedad atmosférica, ha facilitado la corrosión del refuerzo estructural de estos tubos flexibles, disminuyendo su resistencia a la presión. La espiral externa de polietileno impide observar esa corrosión, creándose así la primera *condición latente*.

Existe un sistema de corte de emergencia formado por varias válvulas de esfera actuadas neumáticamente; se activa manualmente, mediante unos pulsadores, o de forma automática cuando los sensores de cloro detectan concentraciones superiores a las 10 ppm. Los operadores activan el sistema a diario, pero sus *prácticas de operación* no exigen la comprobación de la posición real de las válvulas cuando el sistema de emergencia está

activo. Aunque las esferas de las válvulas son de Monel, se ha ido acumulando sobre ellas cloruro férrico procedente de las tuberías de acero al carbono (*diseño y conservación de la instalación*), de modo que la fuerza necesaria para que cierren es muy superior a la que ejercen los actuadores neumáticos (segunda *condición latente*).

Durante la operación de descarga de un vagón cisterna (*operación o estado normal*), los operadores cierran una válvula manual, en la parte fija de la instalación, para interrumpir el proceso durante la pausa del desayuno. Esa simple *acción externa* provoca un ligero aumento de presión en los tubos flexibles, uno de los cuales (debilitado por la primera *condición latente*) se rompe e inicia una fuga de cloro líquido (*desviación en el proceso*). Ni la activación manual del sistema de corte de emergencia (*control manual*) ni la acción sobre él de los sensores de cloro (*acción automática*) consiguen cerrar las válvulas de emergencia, a causa de la segunda *condición latente*.

La imposibilidad de acceder a los equipos autónomos de respiración y la carencia de un sistema para alertar a las instalaciones vecinas (*eficacia de los medios de mitigación*), unida a una escasa *eficacia en la gestión de la emergencia*, por parte de las autoridades locales, conduce a la emisión de más de 21 000 kg de cloro, durante unas tres horas. A pesar de que las condiciones atmosféricas son muy favorables y la mayor parte de la nube es arrastrada hacia zonas muy poco habitadas, un total de sesenta y seis personas precisan asistencia médica (tres de ellas permanecen hospitalizadas durante una noche) aunque por fortuna ninguna de ellas sufre daños permanentes (*consecuencias del accidente*).

2.3. Análisis de los elementos del modelo

El tratar de establecer una lista exhaustiva de los aspectos englobados en cada uno de los elementos del modelo sería seguramente una tarea tan prolija como inútil. No obstante, la esencia de cada uno de los elementos de modelo se subraya cuando se enumeran algunos de los aspectos que incluye.

Evaluación de riesgos. Este elemento se refiere tanto a la evaluación inicial, que debe interaccionar con el proceso de diseño para aminorar *ab initio* los riesgos detectados, como a las evaluaciones que se realicen como consecuencia de:

- Requisitos legales o normativos.
- Cambios en los equipos, en las condiciones de proceso, en las materias primas, en los materiales de construcción, etc.
- Incidentes o accidentes sucedidos en la instalación o en industrias similares.
- Nuevos conocimientos sobre los materiales, las sustancias o las reacciones involucradas
-

La evaluación de riesgos debe identificar los peligros asociados a los productos químicos que se manejan (toxicidad, reactividad, inflamabilidad,...), a los procesos necesarios (presiones, temperaturas,...), a las operaciones (cargas/descargas, paradas, puestas en marcha,), al emplazamiento (instalaciones próximas, tráfico, meteorología, sismicidad, ...), etc.

Diseño y conservación de la instalación. Comprende todos los aspectos relacionados con elementos físicos del establecimiento, por ejemplo:

- La selección del emplazamiento
- La elección de los procesos productivos
- Los accesos y la distribución en planta.
- El diseño de equipos, tuberías de interconexión, instrumentos, controles automáticos, enclavamientos y las restantes medidas de seguridad
- La obra civil y las instalaciones mecánica, eléctrica, de tuberías, etc.
- El diseño de las áreas de almacenamiento
- La gestión de las modificaciones
-

Prácticas de operación. Este aspecto engloba todo el conocimiento que la organización debe poner a disposición de sus empleados para garantizar que todas las operaciones se realizan en condiciones controladas y seguras. En particular quedan incluidas:

- Los documentos (procedimientos, prácticas, instrucciones, guías, etc.) orientados a:
 - Las operaciones de puesta en marcha, parada programada, paradas de emergencia, etc. de equipos e instalaciones.
 - El control de los equipos e instalaciones durante su marcha normal, con indicaciones concretas sobre los límites normales de las variables de operación.
 - La vigilancia de los valores críticos en la composición química de algunas materias primas, productos auxiliares, productos intermedios, productos finales y servicios. Las instrucciones deben establecer cómo tomar las muestras, los parámetros a analizar, sus límites aceptables y las actuaciones a emprender en caso de superación de esos límites.
 - Las actuaciones previas a las operaciones de mantenimiento en ciertas áreas (cegados, vaciados, inertizados, evaluaciones de atmósfera, etc.).
 - Los controles administrativos previos a ciertas operaciones de mantenimiento (permisos de trabajo en caliente, de entrada en espacios confinados, etc.).
 - Las operaciones de mantenimiento consideradas críticas (ciertos trabajos de soldadura, revisión y ajuste de puntos de consigna, etc.).
 - Las calibraciones de instrumentos de planta y/o de laboratorio.
 -

- La formación del personal, tanto ante un nuevo ingreso o un cambio de puesto de trabajo, como la continua, orientada a:
 - Transmitir nuevos conocimientos sobre los procesos, los equipos o las sustancias involucradas.
 - Analizar los incidentes o accidentes producidos en la instalación o en otras similares.
 - Adiestrar a los operadores sobre las actuaciones en caso de emergencia.
 - Eliminar hábitos incorrectos en la forma de hacer las cosas.
 -
- La observación y el control de las prácticas y las actitudes reales en el desempeño de los puestos de trabajo.
-

Operación o estado normal. Aplicado a un único equipo o a una instalación completa, este elemento debe contemplarse en un sentido amplio que comprenda:

- Los periodos de marcha normal, con las variables de operación dentro de sus límites (carga de la planta, temperaturas, niveles, presiones, caudales, composiciones, etc)
- Las operaciones de puesta en marcha.
- Las operaciones de parada programada y aquellas otras no programadas pero que sea previsible que se produzcan por causas conocidas (cortes de energía eléctrica, falsas señales en circuitos de enclavamiento, etc.).
- Los periodos de parada por mantenimiento, cambios en el proceso, falta de materias primas, exceso de producto almacenado, etc.
- Una cantidad de producto almacenado comprendida dentro de los límites de capacidad para los que se diseñaron los almacenes.
-

Acción externa. Cualquier suceso capaz de alterar las condiciones normales de operación o de crear, de forma inmediata o diferida, una condición latente peligrosa. Como ejemplos se podrían citar los siguientes:

- Errores de operación (por acción o por omisión) en la apertura o cierre de válvulas, en la puesta en marcha o parada de bombas, en el orden de las etapas de una secuencia, en la labor de vigilancia, etc.
- Utilización de materias primas, materias auxiliares o servicios, con una o varias características fuera de los límites especificados.
- Cambios en las condiciones de operación, situándolas más allá de los límites en los que se realizó el estudio del proceso y su evaluación de riesgos.
- Modificaciones en el diseño original de la planta (materiales, equipos, venteos, instrumentos, puntos de consigna, alarmas, enclavamientos, etc.)
- Deficiencias en las labores de inspección y mantenimiento de la instalación.

- Alteraciones provocadas como consecuencia de accidentes en instalaciones próximas, fenómenos naturales extremos o actos de sabotaje.
-

Condición latente. Aquella que resulta de difícil detección por los instrumentos de medida y control del proceso productivo y por los propios operadores de la planta. Puede que se haya introducido desde el propio diseño, que sea consecuencia de alguna intervención externa o que se haya ido generando a lo largo de la operación de la planta. Los ejemplos más típicos son:

- Disminución progresiva de la resistencia de los materiales que constituyen los equipos, las tuberías, las juntas, etc., por corrosión, fatiga, fragilización, etc.
- Errores en el diseño que sólo se manifiestan cuando se intenta trabajar en la planta en alguna combinación de condiciones próxima a sus límites superior o inferior.
- Acumulación progresiva de algún producto en el interior de los equipos o tuberías. Dependiendo de la naturaleza de ese producto, su acumulación puede obstruir conductos, catalizar reacciones fuera de los equipos adecuados o sufrir descomposiciones.
- Alteraciones de las condiciones de respuesta de los sistemas de medida, control y seguridad de los procesos. Entre las más frecuentes se cuentan los errores de medida de los instrumentos, las modificaciones introducidas en los puntos de consigna, en los valores de alarma y de corte, etc.
-

Desviación en el proceso. Aquella que sitúa una o varias variables fuera de los límites normales de operación de la instalación; en particular:

- Temperaturas, presiones o niveles de una magnitud tal que superen la capacidad de los sistemas de control automático para restablecer los valores normales.
- Pérdidas de contención de fluidos.
- Alteraciones severas en los productos de reacción, por ejemplo cuando prevalecen reacciones que, en otras condiciones, resultarían secundarias.
-

Control manual. Cualquier actuación de los operadores orientada a detectar y corregir la causa de la desviación, en particular:

- Acciones sobre las válvulas manuales o actuadas a distancia.
- Puesta en marcha o parada de motores (ventiladores, bombas, compresores, etc.).
- Accionamiento de sistemas de emergencia (secuencias de parada, sistemas fijos de extinción, etc.).

Cabe señalar aquí que, en numerosas ocasiones, la actuación de los operadores sólo es posible si han sido alertados por el sistema acerca de la presencia de una desviación. No es posible cimentar la seguridad de un proceso complejo sobre la necesidad de que un operador mantenga de modo permanente su atención sobre cada una de las variables de ese proceso. Debe entenderse, por tanto, que dentro de este elemento se incluyen todos los aspectos relacionados con la facultad del sistema para alertar al operador, con preferencia antes de que se hayan alcanzado los límites de las variables para las que existen sistemas de regulación automática.

Acción automática. Actuación de los sistemas de ingeniería previstos para que actúen cuando determinadas variables están próximas a alcanzar valores peligrosos (Tamborero del Pino, 1997). Pueden citarse, entre otros:

- Elementos de alivio de presión: válvulas de seguridad, paneles de venteo, discos de ruptura, etc.
- Sistemas de enfriamiento rápido (*quench*) de reactores, por ejemplo, mediante la admisión de grandes cantidades de agua.
- Interruptores por presión, temperatura, caudal, nivel, composición, etc. que activan automáticamente paradas de emergencia (*trips*) de equipos, sistemas o instalaciones completas.
-

Accidente. En el presente contexto es perfectamente válida la definición incluida en el Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio: «*Cualquier suceso, tal como una emisión en forma de fuga o vertido, incendio o explosión importantes, que sea consecuencia de un proceso no controlado durante el funcionamiento de cualquier establecimiento al que sea de aplicación el presente Real Decreto, que suponga una situación de grave riesgo, inmediato o diferido, para las personas, los bienes y el medio ambiente, bien sea en el interior o exterior del establecimiento, y en el que estén implicadas una o varias sustancias peligrosas.*»

Eficacia de los medios de mitigación. Relación entre la cantidad de sustancia o energía que ha conseguido retenerse por estos medios y la cantidad que escapó a las actuaciones de control descritas en los puntos anteriores. Entre los medios de mitigación se cuentan:

- Sistemas de recogida de los líquidos tóxicos que puedan ser expulsados de los recipientes, a través de los dispositivos de alivio, como consecuencia de temperaturas y/o presiones elevadas, reacciones fuera de control, etc.
- Los sistemas de canalización hasta la antorcha, de emisiones de gases y vapores inflamables.
- Los cubetos y diques de retención de líquidos o lodos que se almacenen a presiones cercanas a la atmosférica.
- Los sistemas de rociado de agua orientados al enfriamiento de recipientes o a la absorción de gases fácilmente solubles.
-

Eficacia de la gestión de la emergencia. Relación entre los daños evitados y los que cabría razonablemente pensar que se hubieran producido sin la intervención del sistema interno y externo de gestión de las emergencias. Algunos factores que influyen sobre este elemento son los siguientes:

- La existencia de Planes de Autoprotección y de Emergencia Exterior cuidadosamente elaborados, e implantados y mantenidos decididamente.
- La rapidez y precisión en las comunicaciones entre los responsables del establecimiento y las autoridades competentes en la gestión de emergencias.
- La coordinación entre los agentes implicados en la gestión de la emergencia.
- El buen funcionamiento de los sistemas de alerta a la población y a los empleados de instalaciones vecinas.
- La información previa que posea la población afectada, así como la confianza que ésta tenga en las autoridades y el grado de colaboración que ofrezca.
-

Consecuencias: El grado de materialización de los daños, inmediatos o diferidos, para las personas, los bienes y el medio ambiente.

2.4. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS MEDIANTE LISTAS DE COMPROBACIÓN

El concepto, la preparación y el empleo de las listas de comprobación se tratan más extensamente en el capítulo 3 de esta Guía. A los efectos del presente capítulo será suficiente recordar que una lista de comprobación es una relación de los atributos o aspectos deseables en un sistema, para que los riesgos inherentes al mismo se controlen de forma adecuada.

Lo que se propone en esta Guía es la utilización de las listas de comprobación para la identificación de los aspectos peligrosos que pueden darse en una instalación industrial. Esos aspectos pueden simultáneamente clasificarse dentro de los elementos que se han definido en el modelo de accidentes propuesto.

Un ejemplo servirá nuevamente para aclarar el método. En páginas anteriores se ha descrito un accidente real que se produjo en agosto de 2002. Unos años antes (DRC, 1996a) se había publicado una lista de comprobación adecuada para instalaciones de descarga de cloro líquido desde un recipiente móvil (camión o vagón cisterna) hasta depósitos de almacenamiento fijos. La pregunta es inmediata ¿habría ayudado la lista de comprobación a identificar alguno de los fallos que provocaron las consecuencias de ese accidente?

La tabla 2.1 recoge un pequeño fragmento de la lista de comprobación citada, con la única finalidad de mostrar la parte esencial de su estructura. Se han eliminado las columnas correspondientes al resultado de la comprobación (correcto/incorrecto/no aplicable) y a las observaciones, para destacar la parte más útil de la lista.

TABLA 2.1. Lista de comprobación instalaciones de cloro (parcial)

Riesgos - Objetivos	Medidas
R. Daños a la estación de descarga a causa del tráfico.	Limitar la circulación interna Proteger la estación de descarga frente a las colisiones con vehículos (raíles de protección,...).
R. Movimiento del vagón durante la descarga.	Inmovilización del vagón (por ejemplo con calzos), con un enclavamiento que pueda detener el flujo de cloro en la descarga.
O. Limitar la cantidad de cloro fugado en caso de emisión durante la descarga.	Detección automática de cloro con alarma sonora en la sala de control e interrupción de la descarga. Posibilidad de disminuir la presión en la cisterna por evacuación de los vapores de cloro (hacia su destrucción o utilización).

La tabla 2.2 se ha obtenido estudiando la lista de comprobación en el orden inverso al que aparece en la tabla 2.1, es decir, para cada una de las medidas (atributos, componentes, funciones, deseables) *¿en qué riesgo se incurre si esa medida no existe o no se halla operativa?*. Por razones de brevedad, la tabla 2.2 se limita a identificar sólo los riesgos que se hicieron presentes en el accidente objeto de análisis.

Los aspectos identificados en la tabla 2.2 han sido agrupados en la tabla 2.3 de acuerdo con los elementos del modelo de accidentes descrito.

Cabe una observación previa: la mayor parte de los aspectos de la tabla 2.2 pertenecen inicialmente al elemento *Diseño y conservación de la instalación*; esto es prácticamente inevitable si entendemos que este elemento incluye la decisión de si se instala o no un determinado equipo (las válvulas de cierre rápido, por ejemplo), dónde se le ubica, qué especificaciones se le exigen, cómo se le protege durante su vida útil, con qué frecuencia se le inspecciona, qué mantenimiento recibe, etc. Pero, si esto es así, ¿cómo decidir en qué elemento ubicar aspectos tales como el mal funcionamiento de una válvula o la pérdida de resistencia de un equipo?. Algunos criterios, y su aplicación en la propia tabla 2.3, contribuirán a dar una respuesta a esa cuestión:

1. Un dispositivo, potencialmente necesario pero no instalado o dejado fuera de servicio, es un aspecto de riesgo atribuible exclusivamente al elemento *Diseño y conservación de la instalación*, con independencia de que proceda, a su vez, de una ineficaz *Evaluación de los riesgos*.
2. Un equipo incorrectamente especificado o verificado, insuficientemente protegido, instalado en el lugar incorrecto o inspeccionado con una frecuencia inadecuada,

TABLA 2.2. Identificación de aspectos de riesgo en la instalación de cloro

Medidas	Aspecto a evitar
Diseño, construcción y mantenimiento de la instalación según los reglamentos vigentes, los códigos de buenas prácticas aplicables y los consejos de los suministradores de cloro.	Existencia de materiales sin la resistencia química o mecánica adecuada, en líneas, equipos, válvulas, juntas, etc. Carencia de dispositivos de seguridad.
Protección contra la entrada de humedad en el sistema de cloro seco, tras la desconexión de los flexibles.	Sistema de cloro seco vulnerable a la entrada de humedad. Pérdida de resistencia de líneas y equipos por corrosión del acero al carbono por el cloro húmedo, con probable rotura de los mismos y fugas de cloro.
Control de la humedad en los gases que se emplean para impulsar al cloro líquido fuera de las cisternas (aire o nitrógeno).	
Sistema de inspección del estado de corrosión.	Presencia de materiales sólidos en válvulas y conductos, con probables alteraciones en su normal funcionamiento.
Control de la entrada de vapores de cloro en la instalación de aire comprimido.	Sistema de aire comprimido vulnerable a la entrada de vapores de cloro.
Control de los tubos flexibles: fecha de puesta en servicio, inspecciones y mantenimiento.	Uso de tubos flexibles no controlados (fuera de fecha de validez, corroídos, etc.).
Aislamientos estancos a los líquidos y a los gases (humedad atmosférica).	Corrosión no advertida bajo los aislamientos, con probable rotura de equipos o conductos.
Válvulas de cierre rápido situadas tan cerca como sea posible de los enlaces entre tubería fija y flexible.	Ausencia de un sistema de cierre rápido que, en caso de rotura de flexibles, haga mínima la cantidad de cloro líquido fugado.
Estado de las válvulas claramente indicado.	Dificultades para verificar su estado de apertura o cierre, tanto en operación normal como con motivo de las comprobaciones de su buen funcionamiento.
Válvulas de corte que cierren ante fallo del aire.	Incorrecto posicionamiento del sistema de válvulas de cierre rápido en caso de fallo de aire.
Detección continua de cloro con actuación sobre las válvulas de corte.	Dependencia de un operador para activar las válvulas de corte.
Válvulas de corte mandadas mediante pulsadores situados en las vías de escape.	Imposibilidad de actuar sobre las válvulas por hallarse el acceso a los pulsadores en una zona invadida por la nube tóxica.
Cortinas de agua de una red de pulverizadores, mandados desde las vías de escape.	Imposibilidad de reducir el alcance de la nube, por los motivos expuestos en el punto anterior.
Dispositivos para señalar la dirección del viento.	Desconocimiento de hacia dónde escapar y respecto a qué zonas deben ser alertadas.
Material de intervención adecuado (traje estanco y equipo de respiración autónomo), accesible y probado regularmente.	Imposibilidad de acceder al punto desde donde la fuga podría ser controlada.
Plan de emergencia ante escapes de cloro.	Ineficacia en la aplicación de medidas.

puede dar lugar a una *condición latente* en cuyo origen estaría un *diseño y conservación de la instalación* deficiente.

3. El deterioro de un equipo por causas anómalas, en una zona del mismo o en un periodo de tiempo no cubierto por los criterios de inspección habituales en ese tipo de instalaciones, debería clasificarse exclusivamente en el elemento *condición latente*.

Otro detalle a señalar en la tabla 2.3 es la ausencia de elementos tales como *Prácticas de operación*, *Operación o estado normal* y *Acción externa*. Hay que recordar nuevamente que, buscando la brevedad, se han extraído de la lista de comprobación sólo los aspectos que se relacionan más directamente con el accidente puesto como ejemplo. No obstante, en el primero de estos elementos cabría cualquier posible error en las operaciones previas o posteriores a la descarga, que provocara una fuga o la simple contaminación por aire húmedo de las líneas destinadas al transporte de cloro seco. La descarga de un vagón o su interrupción momentánea caen, evidentemente, dentro del elemento *Operación o estado normal*. Una *acción externa* típica podría ser el movimiento no intencionado del vagón durante el periodo en el que está conectado a la instalación, provocado, por ejemplo, por la colisión con otro vagón en movimiento.

Aunque también ausente de la tabla 2.3, el elemento *Evaluación de riesgos*, está presente en todo el proceso. Tras la elaboración de las tablas 2.2 y 2.3, no es difícil extraer algunos de los requisitos que la citada evaluación de riesgos hubiera impuesto:

- Un diseño muy cuidadoso de la instalación (equipos, materiales, métodos de soldadura, dispositivos de seguridad, ubicación de los pulsadores, etc.)
- Un control riguroso de las modificaciones y de la calidad de los repuestos.
- Un sistema de inspección que verificara el estado y la actuación real de los dispositivos de seguridad.
- Una planificación más eficaz de las emergencias.

TABLA 2.3. Asignación de aspectos de riesgo a los elementos del modelo de accidentes.

Elemento del modelo	Aspectos
Diseño y conservación de la instalación.	<p>Existencia de materiales sin la resistencia química o mecánica adecuada, en líneas, equipos, válvulas, juntas, etc.</p> <p>Carencia de dispositivos de seguridad.</p> <p>Sistema de cloro seco vulnerable a la entrada de humedad.</p> <p>Sistema de aire comprimido vulnerable a la entrada de vapores de cloro.</p> <p>Uso de flexibles no controlados (fecha de validez, corrosión, etc.).</p> <p>Dificultades para verificar el estado de apertura o cierre de válvulas automáticas tanto en operación normal como con motivo de las comprobaciones de su buen funcionamiento.</p> <p>Incorrecto posicionamiento del sistema de válvulas de cierre rápido en caso de fallo de aire.</p> <p>Dependencia de un operador para activar las válvulas de corte.</p>
Condición latente.	<p>Pérdida de resistencia en líneas o equipos por la presencia en ellos de materiales inadecuados.</p> <p>Pérdida de resistencia en líneas y equipos que contienen cloro, por corrosión del acero al carbono.</p> <p>Presencia de materiales sólidos en válvulas y conductos.</p> <p>Pérdida de resistencia en líneas o equipos de aire comprimido.</p> <p>Corrosión no advertida bajo los aislamientos.</p>
Desviación en el proceso	Escape de cloro líquido.
Control manual.	<p>Presencia de materiales sólidos en válvulas y conductos (<i>c. latente</i>).</p> <p>Desconocimiento del estado de apertura o cierre de las válvulas en las comprobaciones de su funcionamiento (<i>condición latente</i>).</p> <p>Imposibilidad de actuar sobre las válvulas por hallarse el acceso a los pulsadores en una zona invadida por la nube tóxica.</p>
Acción automática.	<p>Ausencia de un sistema de cierre rápido que, en caso de rotura de flexibles haga mínima la cantidad de cloro líquido fugado.</p> <p>Desconocimiento del estado de apertura o cierre de las válvulas en las comprobaciones de su funcionamiento (<i>condición latente</i>).</p> <p>Presencia de materiales sólidos en válvulas y conductos (<i>c. latente</i>).</p> <p>Dependencia de un operador para activar las válvulas de corte.</p>
Accidente.	Fuga importante de cloro con riesgo grave tanto en el interior como en el exterior del establecimiento.
Eficacia de los medios de mitigación.	<p>Imposibilidad de acceder al punto desde donde la fuga podría ser controlada.</p> <p>Imposibilidad de reducir el alcance de la nube con cortinas de agua.</p>
Eficacia de la gestión de la emergencia.	<p>Desconocimiento de hacia dónde escapar y respecto a qué zonas deben ser alertadas.</p> <p>Ineficacia en la aplicación de medidas de emergencia.</p>

2.5. SECUENCIAS ACCIDENTALES: ÁRBOL DE SUCESOS

El capítulo 4 de esta Guía contempla en detalle el análisis de secuencias accidentales mediante el método del árbol de sucesos. Para los fines del presente capítulo bastará tener presente que un árbol de sucesos es un modelo lógico gráfico que identifica los resultados posibles que siguen a un suceso iniciador, bien a través de una serie de actuaciones de los sistemas de protección, de las funciones normales de la planta y de las intervenciones de los operadores o bien, si ya ha ocurrido un incidente, a través de la serie de posibles consecuencias.

Continuando con el ejemplo de la instalación de descarga de cloro líquido, debe recordarse que:

- a) Se han identificado una serie de aspectos, relacionados con la pérdida de resistencia de los materiales, por los que podría producirse una fuga de cloro líquido. También se ha apuntado la posibilidad de que la fuga sea provocada por una acción externa.
- b) Se conocen las medidas de seguridad para detener esa fuga cuanto antes (sensores de cloro, pulsadores de emergencia y válvulas de cierre rápido), pero también se han apuntado algunas condiciones latentes que podrían limitar o impedir la actuación de esas medidas.
- c) Se sabe de la existencia de medios para la intervención en las proximidades de la fuga (traje estanco con equipo autónomo), si bien se ha citado alguna razón por las que esos medios podrían resultar inaccesibles.
- d) Se supone la existencia de un plan de autoprotección, aunque se desconoce hasta que punto se halla bien implantado y mantenido.

La construcción de árbol comienza con la selección del suceso iniciador, que en este caso es la rotura de la conexión flexible debido a una disminución de su resistencia o a un esfuerzo de tracción sobre la misma.

En segundo lugar, hay que tomar una decisión respecto a quién intenta actuar sobre las válvulas de cierre rápido en primer lugar; aunque en el accidente real, la magnitud de la fuga hizo que actuara casi inmediatamente el sensor de cloro (el operador sólo actuó sobre el pulsador cuando abandonaba la instalación), se ha supuesto que, en condiciones normales de descarga, la actuación del operador precedería a la del sensor; en este caso particular, el orden de actuación es prácticamente irrelevante.

En tercer lugar, se contempla la posibilidad de que el operador hubiera conseguido equiparse adecuadamente y llevar a cabo la intervención que horas más tarde realizaron los equipos de intervención externa, cerrando las válvulas manuales sobre el techo del vagón.

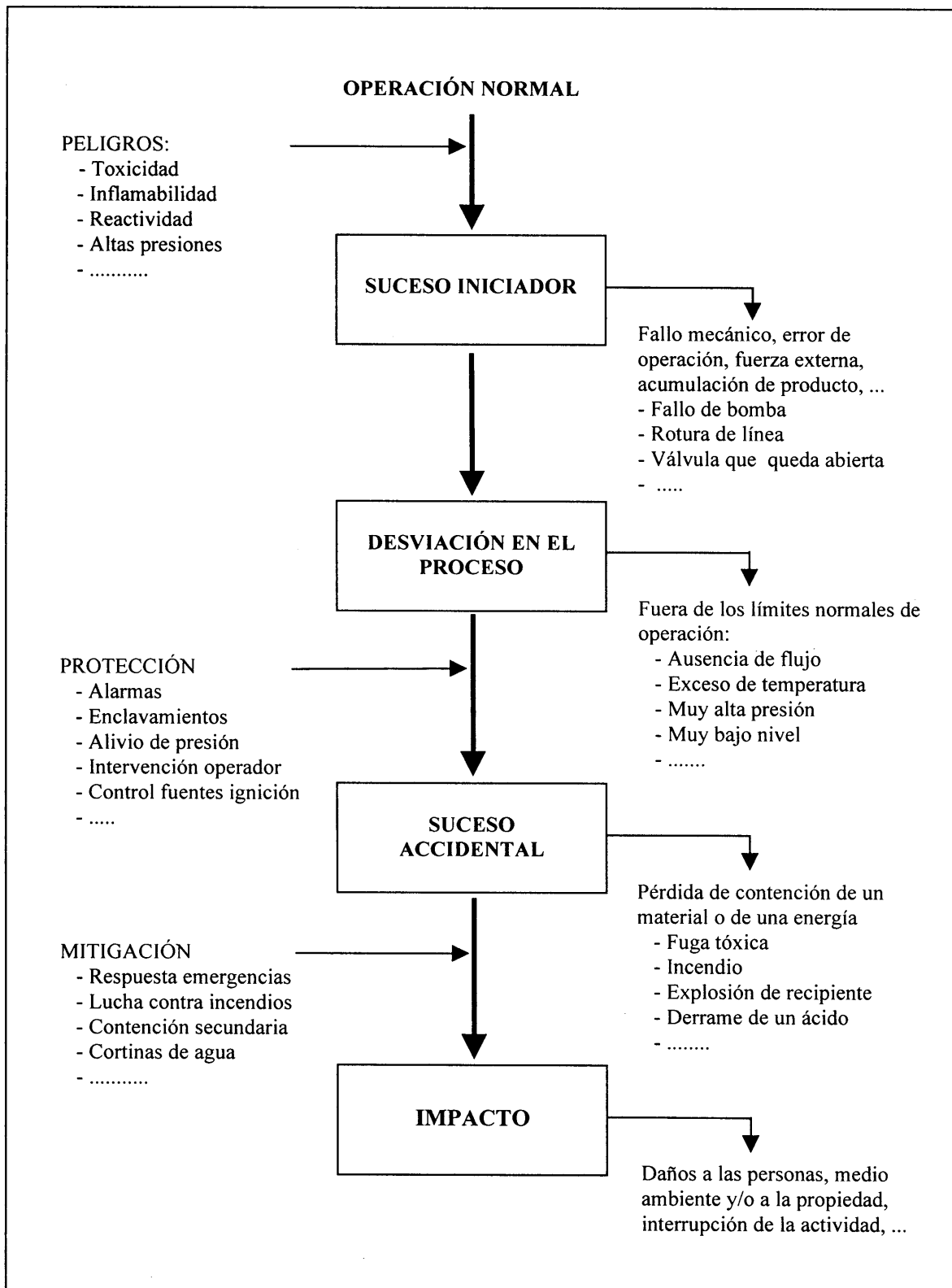


FIGURA 2.1. Escenarios de accidentes industriales

La figura 2.1 (DOE, 1993) representa un buen ejemplo de uno de estos modelos; en él se considera que cada secuencia de fallos y de condiciones que conducen a un suceso accidental es un único escenario. Cada escenario de accidente incluye un suceso iniciador o causa (p. ej. fallo humano o mecánico), una o varias desviaciones en el proceso, un suceso accidental o consecuencia, y un impacto (lesiones y/o daños a la propiedad o al medio ambiente). Las medidas de protección se emplean para evitar que ocurra el accidente, mientras que las de mitigación pueden reducir la severidad del impacto.

El concepto de condiciones que predisponen al accidente, en su versión más general de condiciones latentes (Lees, 2001), representó un avance notable en el modelado de escenarios accidentales. Algunos ejemplos de estados latentes que pueden desencadenar o facilitar el suceso iniciador, así como impedir las acciones de protección o mitigación, son: equipos que se han deteriorado de forma paulatina e inadvertida, instrumentos que se encuentran en estado de fallo pasivo y no detectado, modificaciones en la instalación insuficientemente difundidas, instrucciones de operaciones infrecuentes mal recordadas, etc.

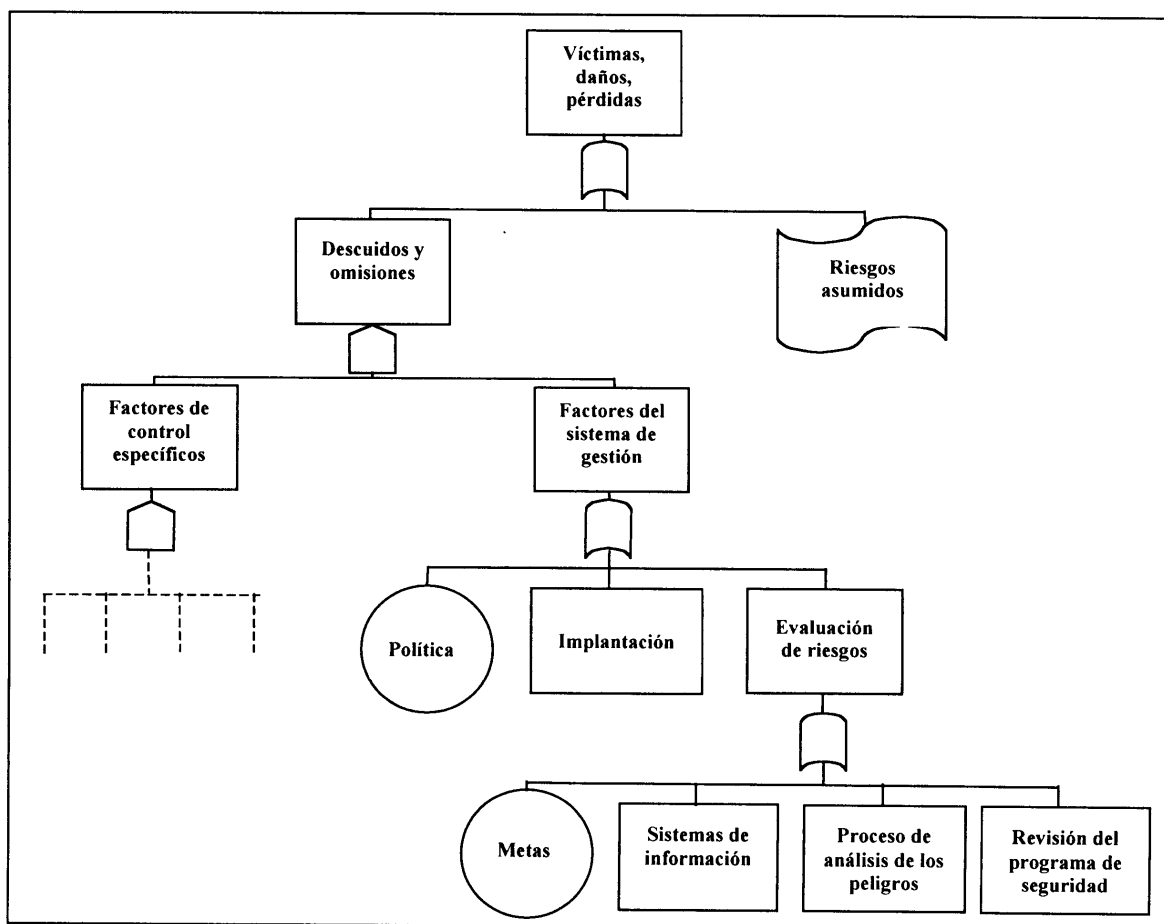


FIGURA 2.2. Vértice del árbol de fallos del modelo M.O.R.T.

La conveniencia de contemplar en el modelado de un accidente las causas raíz del mismo propició la integración de los aspectos de gestión de la seguridad. El modelo *MORT* (*Management Oversight and Risk Tree*) (Lees, 2001) proporciona un sistema de seguridad ideal representado como un árbol lógico que contiene factores de control específicos y aspectos generales de gestión. En la figura 2.2, que muestra el vértice del árbol desplegando la parte correspondiente a los aspectos del sistema de gestión, cada bloque representa las deficiencias en ese aspecto; debe leerse, por tanto, como: «Política inferior a la adecuada», «Implantación inferior a la adecuada», etc.

2.2. El modelo propuesto en esta Guía

Representado en la figura 2.3, el modelo que se propone en esta Guía tiene su origen en el estudio de los presentados en la bibliografía y en el análisis de numerosos accidentes industriales (CEPPO, 2002; CSB, 1998a y b; HID, 2004; Fewtrell, 1998;). Como cualquier otro, está orientado a ordenar y entender con claridad los factores que contribuyen a un accidente y a sus consecuencias, así como a determinar qué elementos permiten eliminar o mitigar esos factores. Aunque no es su utilidad sustancial, también facilita el análisis sistemático de las causas de cualquier accidente industrial.

Se han integrado directamente en el modelo algunos elementos propios de un sistema de gestión de la prevención de accidentes graves; tal es el caso de la evaluación de riesgos y de la planificación ante situaciones de emergencia. La influencia de otros elementos está también presente, aunque de forma menos explícita; en este caso se encuentran el control de la explotación (prácticas de operación, elementos de acción automática,...) y la adaptación de las modificaciones (diseño y conservación de la instalación).

En el modelo se supone que la *operación normal* es consecuencia de un adecuado *diseño y conservación de la instalación* (Koller, 2000; Kletz, 2003) y de unas correctas *prácticas de operación*. No es casual que la cúspide del modelo la ocupe la *evaluación de riesgos*, puesto que debe interactuar, desde los primeros pasos y a lo largo del ciclo de vida, con el diseño y conservación de la instalación y con las prácticas de operación.

La aparición de una *desviación en el proceso* se contempla como consecuencia de una intervención externa o de una condición latente (en estos dos aspectos se engloba el concepto «suceso iniciador» de la mayoría de los modelos). No son aspectos mutuamente excluyentes: en ocasiones una actuación externa «normal» provoca una desviación en el proceso a causa de que una o varias condiciones latentes han ido mermando la «robustez» de la instalación.

El orden de actuación de los aspectos *control manual* y *acción automática* merece algún comentario. En modo alguno se afirma en el modelo que, ante una desviación en el proceso, *siempre* interviene en primer lugar un operador. En el caso más general, los sistemas de control automático de la planta tratarán de restablecer las condiciones ante-

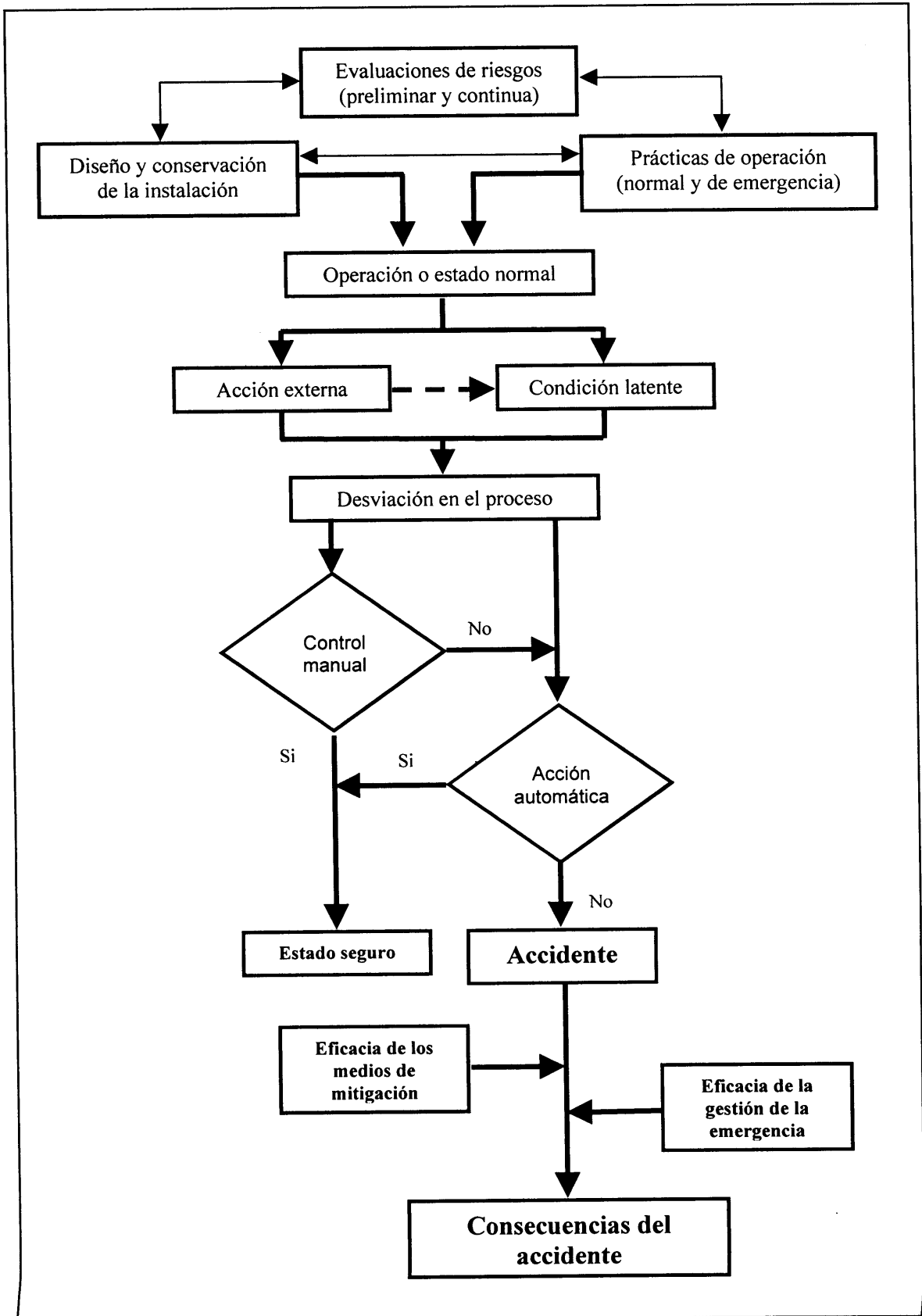


FIGURA 2.3. Esquema del proceso de un accidente industrial.

riores a la desviación y, sólo si no lo consiguen, alertarán al operador mediante alarmas. En el modelo, el aspecto *acción automática* hace referencia a los dispositivos que protegen al sistema *cuando todo lo anterior ha fallado* (válvulas de seguridad, por ejemplo).

El concepto de *accidente* coincide con la definición del artículo 3 del Real Decreto 1254/1999 (*Cualquier suceso, tal como una emisión en forma de fuga o vertido, incendio o explosión importantes.....que suponga una situación de grave riesgo.....*). Así, la emisión de una nube tóxica extensa o la rotura de un tanque de líquido inflamable, se consideran accidentes en el modelo, con independencia de cuáles sean sus consecuencias finales.

Es la *eficacia de los medios de mitigación* la que puede conseguir, por ejemplo, que una nube inflamable no encuentre un foco de ignición o que un líquido se quede contenido en su cubeto. Por último, la *eficacia en la gestión de la emergencia* puede determinar de modo muy significativo la duración y el alcance de las magnitudes peligrosas, así como la protección de los elementos sensibles en las áreas afectadas por el accidente.

El modelo hace intervenir explícitamente a las *condiciones latentes* sólo entre las causas que provocan o que facilitan una desviación en el proceso. Esto no significa que el modelo pase por alto el papel que otras *condiciones latentes* pueden jugar en el desarrollo del escenario accidental. Una alarma anulada, un operador insuficientemente entrenado, una válvula de seguridad mal tarada o una instalación de lucha contra incendios mal diseñada o mantenida, son ejemplos de *condiciones latentes* que pueden ejercer una influencia determinante en la evolución del escenario accidental.

El análisis de un accidente real (CSB, 2003), utilizando la terminología del modelo, contribuirá a clarificar el alcance de sus elementos y las conexiones entre ellos.

En un establecimiento se trasiega cloro líquido desde vagones cisterna hasta una instalación de llenado de botellas de 65 kg y de botellones de 1 tonelada. Los tubos flexibles, con los que las tuberías fijas se conectan a las válvulas del vagón cisterna, tienen un tubo interno de teflón, un refuerzo estructural trenzado de Hastelloy C-276 (para soportar la presión) y una espiral de protección externa de polietileno. Por un error en el proceso de adquisición de repuestos, algunos de los tubos flexibles tienen el refuerzo estructural trenzado de acero inoxidable 316L (*diseño y conservación de la instalación*). La ligera permeabilidad del teflón a las moléculas de cloro, en combinación con la humedad atmosférica, ha facilitado la corrosión del refuerzo estructural de estos tubos flexibles, disminuyendo su resistencia a la presión. La espiral externa de polietileno impide observar esa corrosión, creándose así la primera *condición latente*.

Existe un sistema de corte de emergencia formado por varias válvulas de esfera actuadas neumáticamente; se activa manualmente, mediante unos pulsadores, o de forma automática cuando los sensores de cloro detectan concentraciones superiores a las 10 ppm. Los operadores activan el sistema a diario, pero sus *prácticas de operación* no exigen la comprobación de la posición real de las válvulas cuando el sistema de emergencia está

activo. Aunque las esferas de las válvulas son de Monel, se ha ido acumulando sobre ellas cloruro férrico procedente de las tuberías de acero al carbono (*diseño y conservación de la instalación*), de modo que la fuerza necesaria para que cierren es muy superior a la que ejercen los actuadores neumáticos (*segunda condición latente*).

Durante la operación de descarga de un vagón cisterna (*operación o estado normal*), los operadores cierran una válvula manual, en la parte fija de la instalación, para interrumpir el proceso durante la pausa del desayuno. Esa simple *acción externa* provoca un ligero aumento de presión en los tubos flexibles, uno de los cuales (debilitado por la primera *condición latente*) se rompe e inicia una fuga de cloro líquido (*desviación en el proceso*). Ni la activación manual del sistema de corte de emergencia (*control manual*) ni la acción sobre él de los sensores de cloro (*acción automática*) consiguen cerrar las válvulas de emergencia, a causa de la segunda *condición latente*.

La imposibilidad de acceder a los equipos autónomos de respiración y la carencia de un sistema para alertar a las instalaciones vecinas (*eficacia de los medios de mitigación*), unida a una escasa *eficacia en la gestión de la emergencia*, por parte de las autoridades locales, conduce a la emisión de más de 21 000 kg de cloro, durante unas tres horas. A pesar de que las condiciones atmosféricas son muy favorables y la mayor parte de la nube es arrastrada hacia zonas muy poco habitadas, un total de sesenta y seis personas precisan asistencia médica (tres de ellas permanecen hospitalizadas durante una noche) aunque por fortuna ninguna de ellas sufre daños permanentes (*consecuencias del accidente*).

2.3. Análisis de los elementos del modelo

El tratar de establecer una lista exhaustiva de los aspectos englobados en cada uno de los elementos del modelo sería seguramente una tarea tan prolija como inútil. No obstante, la esencia de cada uno de los elementos de modelo se subraya cuando se enumeran algunos de los aspectos que incluye.

Evaluación de riesgos. Este elemento se refiere tanto a la evaluación inicial, que debe interaccionar con el proceso de diseño para aminorar *ab initio* los riesgos detectados, como a las evaluaciones que se realicen como consecuencia de:

- Requisitos legales o normativos.
- Cambios en los equipos, en las condiciones de proceso, en las materias primas, en los materiales de construcción, etc.
- Incidentes o accidentes sucedidos en la instalación o en industrias similares.
- Nuevos conocimientos sobre los materiales, las sustancias o las reacciones involucradas
-

La evaluación de riesgos debe identificar los peligros asociados a los productos químicos que se manejan (toxicidad, reactividad, inflamabilidad,...), a los procesos necesarios (presiones, temperaturas,...), a las operaciones (cargas/descargas, paradas, puestas en marcha,), al emplazamiento (instalaciones próximas, tráfico, meteorología, sismicidad, ...), etc.

Diseño y conservación de la instalación. Comprende todos los aspectos relacionados con elementos físicos del establecimiento, por ejemplo:

- La selección del emplazamiento
- La elección de los procesos productivos
- Los accesos y la distribución en planta.
- El diseño de equipos, tuberías de interconexión, instrumentos, controles automáticos, enclavamientos y las restantes medidas de seguridad
- La obra civil y las instalaciones mecánica, eléctrica, de tuberías, etc.
- El diseño de las áreas de almacenamiento
- La gestión de las modificaciones
-

Prácticas de operación. Este aspecto engloba todo el conocimiento que la organización debe poner a disposición de sus empleados para garantizar que todas las operaciones se realizan en condiciones controladas y seguras. En particular quedan incluidas:

- Los documentos (procedimientos, prácticas, instrucciones, guías, etc.) orientados a:
 - Las operaciones de puesta en marcha, parada programada, paradas de emergencia, etc. de equipos e instalaciones.
 - El control de los equipos e instalaciones durante su marcha normal, con indicaciones concretas sobre los límites normales de las variables de operación.
 - La vigilancia de los valores críticos en la composición química de algunas materias primas, productos auxiliares, productos intermedios, productos finales y servicios. Las instrucciones deben establecer cómo tomar las muestras, los parámetros a analizar, sus límites aceptables y las actuaciones a emprender en caso de superación de esos límites.
 - Las actuaciones previas a las operaciones de mantenimiento en ciertas áreas (cegados, vaciados, inertizados, evaluaciones de atmósfera, etc.).
 - Los controles administrativos previos a ciertas operaciones de mantenimiento (permisos de trabajo en caliente, de entrada en espacios confinados, etc.).
 - Las operaciones de mantenimiento consideradas críticas (ciertos trabajos de soldadura, revisión y ajuste de puntos de consigna, etc.).
 - Las calibraciones de instrumentos de planta y/o de laboratorio.
 -

- La formación del personal, tanto ante un nuevo ingreso o un cambio de puesto de trabajo, como la continua, orientada a:
 - Transmitir nuevos conocimientos sobre los procesos, los equipos o las sustancias involucradas.
 - Analizar los incidentes o accidentes producidos en la instalación o en otras similares.
 - Adiestrar a los operadores sobre las actuaciones en caso de emergencia.
 - Eliminar hábitos incorrectos en la forma de hacer las cosas.
 -
- La observación y el control de las prácticas y las actitudes reales en el desempeño de los puestos de trabajo.
-

Operación o estado normal. Aplicado a un único equipo o a una instalación completa, este elemento debe contemplarse en un sentido amplio que comprenda:

- Los periodos de marcha normal, con las variables de operación dentro de sus límites (carga de la planta, temperaturas, niveles, presiones, caudales, composiciones, etc)
- Las operaciones de puesta en marcha.
- Las operaciones de parada programada y aquellas otras no programadas pero que sea previsible que se produzcan por causas conocidas (cortes de energía eléctrica, falsas señales en circuitos de enclavamiento, etc.).
- Los periodos de parada por mantenimiento, cambios en el proceso, falta de materias primas, exceso de producto almacenado, etc.
- Una cantidad de producto almacenado comprendida dentro de los límites de capacidad para los que se diseñaron los almacenes.
-

Acción externa. Cualquier suceso capaz de alterar las condiciones normales de operación o de crear, de forma inmediata o diferida, una condición latente peligrosa. Como ejemplos se podrían citar los siguientes:

- Errores de operación (por acción o por omisión) en la apertura o cierre de válvulas, en la puesta en marcha o parada de bombas, en el orden de las etapas de una secuencia, en la labor de vigilancia, etc.
- Utilización de materias primas, materias auxiliares o servicios, con una o varias características fuera de los límites especificados.
- Cambios en las condiciones de operación, situándolas más allá de los límites en los que se realizó el estudio del proceso y su evaluación de riesgos.
- Modificaciones en el diseño original de la planta (materiales, equipos, venteos, instrumentos, puntos de consigna, alarmas, enclavamientos, etc.)
- Deficiencias en las labores de inspección y mantenimiento de la instalación.

- Alteraciones provocadas como consecuencia de accidentes en instalaciones próximas, fenómenos naturales extremos o actos de sabotaje.
-

Condición latente. Aquella que resulta de difícil detección por los instrumentos de medida y control del proceso productivo y por los propios operadores de la planta. Puede que se haya introducido desde el propio diseño, que sea consecuencia de alguna intervención externa o que se haya ido generando a lo largo de la operación de la planta. Los ejemplos más típicos son:

- Disminución progresiva de la resistencia de los materiales que constituyen los equipos, las tuberías, las juntas, etc., por corrosión, fatiga, fragilización, etc.
- Errores en el diseño que sólo se manifiestan cuando se intenta trabajar en la planta en alguna combinación de condiciones próxima a sus límites superior o inferior.
- Acumulación progresiva de algún producto en el interior de los equipos o tuberías. Dependiendo de la naturaleza de ese producto, su acumulación puede obstruir conductos, catalizar reacciones fuera de los equipos adecuados o sufrir descomposiciones.
- Alteraciones de las condiciones de respuesta de los sistemas de medida, control y seguridad de los procesos. Entre las más frecuentes se cuentan los errores de medida de los instrumentos, las modificaciones introducidas en los puntos de consigna, en los valores de alarma y de corte, etc.
-

Desviación en el proceso. Aquella que sitúa una o varias variables fuera de los límites normales de operación de la instalación; en particular:

- Temperaturas, presiones o niveles de una magnitud tal que superen la capacidad de los sistemas de control automático para restablecer los valores normales.
- Pérdidas de contención de fluidos.
- Alteraciones severas en los productos de reacción, por ejemplo cuando prevalecen reacciones que, en otras condiciones, resultarían secundarias.
-

Control manual. Cualquier actuación de los operadores orientada a detectar y corregir la causa de la desviación, en particular:

- Acciones sobre las válvulas manuales o actuadas a distancia.
- Puesta en marcha o parada de motores (ventiladores, bombas, compresores, etc.).
- Accionamiento de sistemas de emergencia (secuencias de parada, sistemas fijos de extinción, etc.).

Cabe señalar aquí que, en numerosas ocasiones, la actuación de los operadores sólo es posible si han sido alertados por el sistema acerca de la presencia de una desviación. No es posible cimentar la seguridad de un proceso complejo sobre la necesidad de que un operador mantenga de modo permanente su atención sobre cada una de las variables de ese proceso. Debe entenderse, por tanto, que dentro de este elemento se incluyen todos los aspectos relacionados con la facultad del sistema para alertar al operador, con preferencia antes de que se hayan alcanzado los límites de las variables para las que existen sistemas de regulación automática.

Acción automática. Actuación de los sistemas de ingeniería previstos para que actúen cuando determinadas variables están próximas a alcanzar valores peligrosos (Tamborero del Pino, 1997). Pueden citarse, entre otros:

- Elementos de alivio de presión: válvulas de seguridad, paneles de venteo, discos de ruptura, etc.
- Sistemas de enfriamiento rápido (*quench*) de reactores, por ejemplo, mediante la admisión de grandes cantidades de agua.
- Interruptores por presión, temperatura, caudal, nivel, composición, etc. que activan automáticamente paradas de emergencia (*trips*) de equipos, sistemas o instalaciones completas.
-

Accidente. En el presente contexto es perfectamente válida la definición incluida en el Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio: «Cualquier suceso, tal como una emisión en forma de fuga o vertido, incendio o explosión importantes, que sea consecuencia de un proceso no controlado durante el funcionamiento de cualquier establecimiento al que sea de aplicación el presente Real Decreto, que suponga una situación de grave riesgo, inmediato o diferido, para las personas, los bienes y el medio ambiente, bien sea en el interior o exterior del establecimiento, y en el que estén implicadas una o varias sustancias peligrosas.»

Eficacia de los medios de mitigación. Relación entre la cantidad de sustancia o energía que ha conseguido retenerse por estos medios y la cantidad que escapó a las actuaciones de control descritas en los puntos anteriores. Entre los medios de mitigación se cuentan:

- Sistemas de recogida de los líquidos tóxicos que puedan ser expulsados de los recipientes, a través de los dispositivos de alivio, como consecuencia de temperaturas y/o presiones elevadas, reacciones fuera de control, etc.
- Los sistemas de canalización hasta la antorcha, de emisiones de gases y vapores inflamables.
- Los cubetos y diques de retención de líquidos o lodos que se almacenen a presiones cercanas a la atmosférica.
- Los sistemas de rociado de agua orientados al enfriamiento de recipientes o a la absorción de gases fácilmente solubles.
-

Eficacia de la gestión de la emergencia. Relación entre los daños evitados y los que cabría razonablemente pensar que se hubieran producido sin la intervención del sistema interno y externo de gestión de las emergencias. Algunos factores que influyen sobre este elemento son los siguientes:

- La existencia de Planes de Autoprotección y de Emergencia Exterior cuidadosamente elaborados, e implantados y mantenidos decididamente.
- La rapidez y precisión en las comunicaciones entre los responsables del establecimiento y las autoridades competentes en la gestión de emergencias.
- La coordinación entre los agentes implicados en la gestión de la emergencia.
- El buen funcionamiento de los sistemas de alerta a la población y a los empleados de instalaciones vecinas.
- La información previa que posea la población afectada, así como la confianza que ésta tenga en las autoridades y el grado de colaboración que ofrezca.
-

Consecuencias: El grado de materialización de los daños, inmediatos o diferidos, para las personas, los bienes y el medio ambiente.

2.4. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS MEDIANTE LISTAS DE COMPROBACIÓN

El concepto, la preparación y el empleo de las listas de comprobación se tratan más extensamente en el capítulo 3 de esta Guía. A los efectos del presente capítulo será suficiente recordar que una lista de comprobación es una relación de los atributos o aspectos deseables en un sistema, para que los riesgos inherentes al mismo se controlen de forma adecuada.

Lo que se propone en esta Guía es la utilización de las listas de comprobación para la identificación de los aspectos peligrosos que pueden darse en una instalación industrial. Esos aspectos pueden simultáneamente clasificarse dentro de los elementos que se han definido en el modelo de accidentes propuesto.

Un ejemplo servirá nuevamente para aclarar el método. En páginas anteriores se ha descrito un accidente real que se produjo en agosto de 2002. Unos años antes (DRC, 1996a) se había publicado una lista de comprobación adecuada para instalaciones de descarga de cloro líquido desde un recipiente móvil (camión o vagón cisterna) hasta depósitos de almacenamiento fijos. La pregunta es inmediata ¿habría ayudado la lista de comprobación a identificar alguno de los fallos que provocaron las consecuencias de ese accidente?

La tabla 2.1 recoge un pequeño fragmento de la lista de comprobación citada, con la única finalidad de mostrar la parte esencial de su estructura. Se han eliminado las columnas correspondientes al resultado de la comprobación (correcto/incorrecto/no aplicable) y a las observaciones, para destacar la parte más útil de la lista.

TABLA 2.1. Lista de comprobación instalaciones de cloro (parcial)

Riesgos - Objetivos	Medidas
R. Daños a la estación de descarga a causa del tráfico.	Limitar la circulación interna Proteger la estación de descarga frente a las colisiones con vehículos (raíles de protección,...).
R. Movimiento del vagón durante la descarga.	Inmovilización del vagón (por ejemplo con calzos), con un enclavamiento que pueda detener el flujo de cloro en la descarga.
O. Limitar la cantidad de cloro fugado en caso de emisión durante la descarga.	Detección automática de cloro con alarma sonora en la sala de control e interrupción de la descarga. Posibilidad de disminuir la presión en la cisterna por evacuación de los vapores de cloro (hacia su destrucción o utilización).

La tabla 2.2 se ha obtenido estudiando la lista de comprobación en el orden inverso al que aparece en la tabla 2.1, es decir, para cada una de las medidas (atributos, componentes, funciones, deseables) *¿en qué riesgo se incurre si esa medida no existe o no se halla operativa?*. Por razones de brevedad, la tabla 2.2 se limita a identificar sólo los riesgos que se hicieron presentes en el accidente objeto de análisis.

Los aspectos identificados en la tabla 2.2 han sido agrupados en la tabla 2.3 de acuerdo con los elementos del modelo de accidentes descrito.

Cabe una observación previa: la mayor parte de los aspectos de la tabla 2.2 pertenecen inicialmente al elemento *Diseño y conservación de la instalación*; esto es prácticamente inevitable si entendemos que este elemento incluye la decisión de si se instala o no un determinado equipo (las válvulas de cierre rápido, por ejemplo), dónde se le ubica, qué especificaciones se le exigen, cómo se le protege durante su vida útil, con qué frecuencia se le inspecciona, qué mantenimiento recibe, etc. Pero, si esto es así, *¿cómo decidir en qué elemento ubicar aspectos tales como el mal funcionamiento de una válvula o la pérdida de resistencia de un equipo?*. Algunos criterios, y su aplicación en la propia tabla 2.3, contribuirán a dar una respuesta a esa cuestión:

1. Un dispositivo, potencialmente necesario pero no instalado o dejado fuera de servicio, es un aspecto de riesgo atribuible exclusivamente al elemento *Diseño y conservación de la instalación*, con independencia de que proceda, a su vez, de una ineficaz *Evaluación de los riesgos*.
2. Un equipo incorrectamente especificado o verificado, insuficientemente protegido, instalado en el lugar incorrecto o inspeccionado con una frecuencia inadecuada,

TABLA 2.2. Identificación de aspectos de riesgo en la instalación de cloro

Medidas	Aspecto a evitar
Diseño, construcción y mantenimiento de la instalación según los reglamentos vigentes, los códigos de buenas prácticas aplicables y los consejos de los suministradores de cloro.	Existencia de materiales sin la resistencia química o mecánica adecuada, en líneas, equipos, válvulas, juntas, etc. Carencia de dispositivos de seguridad.
Protección contra la entrada de humedad en el sistema de cloro seco, tras la desconexión de los flexibles.	Sistema de cloro seco vulnerable a la entrada de humedad. Pérdida de resistencia de líneas y equipos por corrosión del acero al carbono por el cloro húmedo, con probable rotura de los mismos y fugas de cloro.
Control de la humedad en los gases que se emplean para impulsar al cloro líquido fuera de las cisternas (aire o nitrógeno).	
Sistema de inspección del estado de corrosión.	Presencia de materiales sólidos en válvulas y conductos, con probables alteraciones en su normal funcionamiento.
Control de la entrada de vapores de cloro en la instalación de aire comprimido.	Sistema de aire comprimido vulnerable a la entrada de vapores de cloro.
Control de los tubos flexibles: fecha de puesta en servicio, inspecciones y mantenimiento.	Uso de tubos flexibles no controlados (fuera de fecha de validez, corroídos, etc.).
Aislamientos estancos a los líquidos y a los gases (humedad atmosférica).	Corrosión no advertida bajo los aislamientos, con probable rotura de equipos o conductos.
Válvulas de cierre rápido situadas tan cerca como sea posible de los enlaces entre tubería fija y flexible.	Ausencia de un sistema de cierre rápido que, en caso de rotura de flexibles, haga mínima la cantidad de cloro líquido fugado.
Estado de las válvulas claramente indicado.	Dificultades para verificar su estado de apertura o cierre, tanto en operación normal como con motivo de las comprobaciones de su buen funcionamiento.
Válvulas de corte que cierren ante fallo del aire.	Incorrecto posicionamiento del sistema de válvulas de cierre rápido en caso de fallo de aire.
Detección continua de cloro con actuación sobre las válvulas de corte.	Dependencia de un operador para activar las válvulas de corte.
Válvulas de corte mandadas mediante pulsadores situados en las vías de escape.	Imposibilidad de actuar sobre las válvulas por hallarse el acceso a los pulsadores en una zona invadida por la nube tóxica.
Cortinas de agua de una red de pulverizadores, mandados desde las vías de escape.	Imposibilidad de reducir el alcance de la nube, por los motivos expuestos en el punto anterior.
Dispositivos para señalar la dirección del viento.	Desconocimiento de hacia dónde escapar y respecto a qué zonas deben ser alertadas.
Material de intervención adecuado (traje estanco y equipo de respiración autónomo), accesible y probado regularmente.	Imposibilidad de acceder al punto desde donde la fuga podría ser controlada.
Plan de emergencia ante escapes de cloro.	Ineficacia en la aplicación de medidas.

puede dar lugar a una *condición latente* en cuyo origen estaría un *diseño y conservación de la instalación* deficiente.

3. El deterioro de un equipo por causas anómalas, en una zona del mismo o en un periodo de tiempo no cubierto por los criterios de inspección habituales en ese tipo de instalaciones, debería clasificarse exclusivamente en el elemento *condición latente*.

Otro detalle a señalar en la tabla 2.3 es la ausencia de elementos tales como *Prácticas de operación*, *Operación o estado normal* y *Acción externa*. Hay que recordar nuevamente que, buscando la brevedad, se han extraído de la lista de comprobación sólo los aspectos que se relacionan más directamente con el accidente puesto como ejemplo. No obstante, en el primero de estos elementos cabría cualquier posible error en las operaciones previas o posteriores a la descarga, que provocara una fuga o la simple contaminación por aire húmedo de las líneas destinadas al transporte de cloro seco. La descarga de un vagón o su interrupción momentánea caen, evidentemente, dentro del elemento *Operación o estado normal*. Una *acción externa* típica podría ser el movimiento no intencionado del vagón durante el periodo en el que está conectado a la instalación, provocado, por ejemplo, por la colisión con otro vagón en movimiento.

Aunque también ausente de la tabla 2.3, el elemento *Evaluación de riesgos*, está presente en todo el proceso. Tras la elaboración de las tablas 2.2 y 2.3, no es difícil extraer algunos de los requisitos que la citada evaluación de riesgos hubiera impuesto:

- Un diseño muy cuidadoso de la instalación (equipos, materiales, métodos de soldadura, dispositivos de seguridad, ubicación de los pulsadores, etc.)
- Un control riguroso de las modificaciones y de la calidad de los repuestos.
- Un sistema de inspección que verificara el estado y la actuación real de los dispositivos de seguridad.
- Una planificación más eficaz de las emergencias.

TABLA 2.3. Asignación de aspectos de riesgo a los elementos del modelo de accidentes.

Elemento del modelo	Aspectos
Diseño y conservación de la instalación.	<p>Existencia de materiales sin la resistencia química o mecánica adecuada, en líneas, equipos, válvulas, juntas, etc.</p> <p>Carencia de dispositivos de seguridad.</p> <p>Sistema de cloro seco vulnerable a la entrada de humedad.</p> <p>Sistema de aire comprimido vulnerable a la entrada de vapores de cloro.</p> <p>Uso de flexibles no controlados (fecha de validez, corrosión, etc.).</p> <p>Dificultades para verificar el estado de apertura o cierre de válvulas automáticas tanto en operación normal como con motivo de las comprobaciones de su buen funcionamiento.</p> <p>Incorrecto posicionamiento del sistema de válvulas de cierre rápido en caso de fallo de aire.</p> <p>Dependencia de un operador para activar las válvulas de corte.</p>
Condición latente.	<p>Pérdida de resistencia en líneas o equipos por la presencia en ellos de materiales inadecuados.</p> <p>Pérdida de resistencia en líneas y equipos que contienen cloro, por corrosión del acero al carbono.</p> <p>Presencia de materiales sólidos en válvulas y conductos.</p> <p>Pérdida de resistencia en líneas o equipos de aire comprimido.</p> <p>Corrosión no advertida bajo los aislamientos.</p>
Desviación en el proceso	Escape de cloro líquido.
Control manual.	<p>Presencia de materiales sólidos en válvulas y conductos (<i>c. latente</i>).</p> <p>Desconocimiento del estado de apertura o cierre de las válvulas en las comprobaciones de su funcionamiento (<i>condición latente</i>).</p> <p>Imposibilidad de actuar sobre las válvulas por hallarse el acceso a los pulsadores en una zona invadida por la nube tóxica.</p>
Acción automática.	<p>Ausencia de un sistema de cierre rápido que, en caso de rotura de flexibles haga mínima la cantidad de cloro líquido fugado.</p> <p>Desconocimiento del estado de apertura o cierre de las válvulas en las comprobaciones de su funcionamiento (<i>condición latente</i>).</p> <p>Presencia de materiales sólidos en válvulas y conductos (<i>c. latente</i>).</p> <p>Dependencia de un operador para activar las válvulas de corte.</p>
Accidente.	Fuga importante de cloro con riesgo grave tanto en el interior como en el exterior del establecimiento.
Eficacia de los medios de mitigación.	<p>Imposibilidad de acceder al punto desde donde la fuga podría ser controlada.</p> <p>Imposibilidad de reducir el alcance de la nube con cortinas de agua.</p>
Eficacia de la gestión de la emergencia.	<p>Desconocimiento de hacia dónde escapar y respecto a qué zonas deben ser alertadas.</p> <p>Ineficacia en la aplicación de medidas de emergencia.</p>

2.5. SECUENCIAS ACCIDENTALES: ÁRBOL DE SUCESOS

El capítulo 4 de esta Guía contempla en detalle el análisis de secuencias accidentales mediante el método del árbol de sucesos. Para los fines del presente capítulo bastará tener presente que un árbol de sucesos es un modelo lógico gráfico que identifica los resultados posibles que siguen a un suceso iniciador, bien a través de una serie de actuaciones de los sistemas de protección, de las funciones normales de la planta y de las intervenciones de los operadores o bien, si ya ha ocurrido un incidente, a través de la serie de posibles consecuencias.

Continuando con el ejemplo de la instalación de descarga de cloro líquido, debe recordarse que:

- a) Se han identificado una serie de aspectos, relacionados con la pérdida de resistencia de los materiales, por los que podría producirse una fuga de cloro líquido. También se ha apuntado la posibilidad de que la fuga sea provocada por una acción externa.
- b) Se conocen las medidas de seguridad para detener esa fuga cuanto antes (sensores de cloro, pulsadores de emergencia y válvulas de cierre rápido), pero también se han apuntado algunas condiciones latentes que podrían limitar o impedir la actuación de esas medidas.
- c) Se sabe de la existencia de medios para la intervención en las proximidades de la fuga (traje estanco con equipo autónomo), si bien se ha citado alguna razón por las que esos medios podrían resultar inaccesibles.
- d) Se supone la existencia de un plan de autoprotección, aunque se desconoce hasta que punto se halla bien implantado y mantenido.

La construcción de árbol comienza con la selección del suceso iniciador, que en este caso es la rotura de la conexión flexible debido a una disminución de su resistencia o a un esfuerzo de tracción sobre la misma.

En segundo lugar, hay que tomar una decisión respecto a quién intenta actuar sobre las válvulas de cierre rápido en primer lugar; aunque en el accidente real, la magnitud de la fuga hizo que actuara casi inmediatamente el sensor de cloro (el operador sólo actuó sobre el pulsador cuando abandonaba la instalación), se ha supuesto que, en condiciones normales de descarga, la actuación del operador precedería a la del sensor; en este caso particular, el orden de actuación es prácticamente irrelevante.

En tercer lugar, se contempla la posibilidad de que el operador hubiera conseguido equiparse adecuadamente y llevar a cabo la intervención que horas más tarde realizaron los equipos de intervención externa, cerrando las válvulas manuales sobre el techo del vagón.

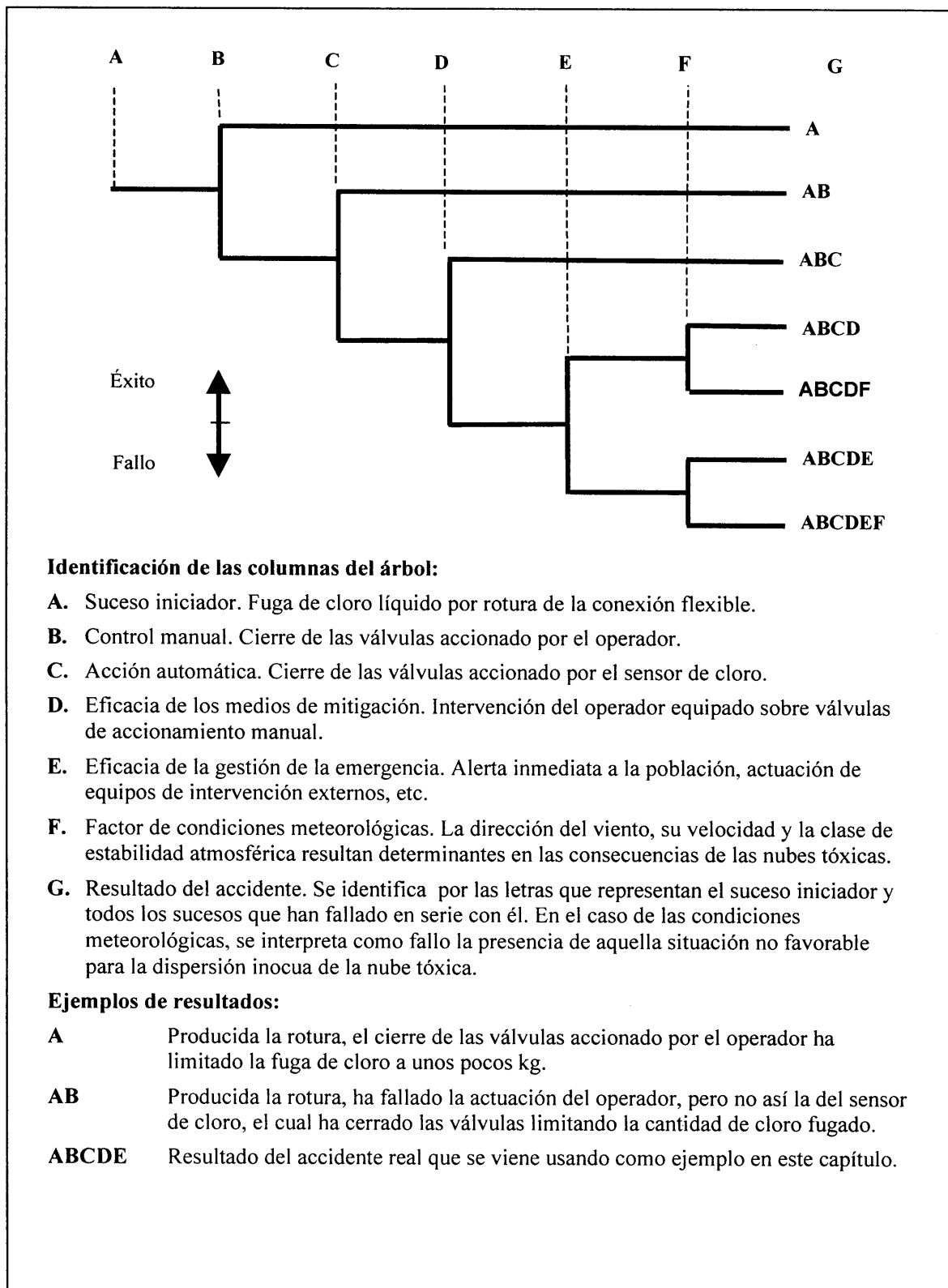


FIGURA 2.4. Árbol de sucesos para el accidente ejemplificado.

La eficacia en la gestión de la emergencia ocupa la cuarta ramificación del árbol; en el caso en estudio los fallos más acusados fueron la inexistencia de un sistema para alertar a los alrededores, junto con cierta falta de coordinación inicial entre las fuerzas responsables del control de la emergencia.

Se ha reservado una ramificación para incluir el efecto de las condiciones meteorológicas que, en este y en otros accidentes similares, pueden establecer diferencias dramáticas en las consecuencias del suceso.

2.6. EJEMPLO RESUMIDO DEL PROCEDIMIENTO

Se incluye en este capítulo un ejemplo resumido de aplicación del procedimiento de análisis, con la finalidad de destacar sus etapas esenciales. En una publicación complementaria de la actual (Ruiz, 2004), se desarrollan dos ejemplos de aplicación de esta metodología, que cubren todos los contenidos del análisis del riesgo propuestos en la tabla 1.2.

El tipo de instalación elegida para el ejemplo, un parque de almacenamiento de productos petrolíferos, ofrece algunos rasgos diferenciales con respecto a otras instalaciones donde se manejan sustancias peligrosas:

- Existe una amplia experiencia en relación con las propiedades peligrosas de las sustancias almacenadas y con el origen de los accidentes potenciales, la cual ha motivado una reglamentación preventiva específica y directamente aplicable.
- Puesto que los accidentes típicos –incendios y explosiones– tienden a propagarse por efecto dominó, en estas instalaciones están muy desarrollados los medios de mitigación –defensa contra incendios– y la planificación de las emergencias.

2.6.1. Descripción de la instalación

Se trata de una instalación de recepción, almacenamiento y distribución de líquidos petrolíferos con una capacidad nominal de 25 000 m³, repartida entre gasolina (10 000 m³) y gasóleos (15 000 m³).

La cantidad de gasolina presente (aproximadamente 7500 t) hace que el establecimiento se encuentre afectado por el Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, si bien esa cantidad sólo supera a la especificada en la columna 2 de la parte 1 del Anexo I del citado Real Decreto, por lo que se trata de una afección de las coloquialmente denominadas de «nivel inferior».

TABLA 2.4. Parte 1 del Anexo I del Real Decreto 1254/1999 (parcial)

Columna 1	Columna 2	Columna 3
Sustancias peligrosas	Cantidad umbral (toneladas) para la aplicación de	
	(Artículos 6 y 7)	(Artículo 9)
Gasolina de automoción y otras fracciones ligeras	5 000	50 000

El parque ocupa una superficie de 20 000 m² y consta de las siguientes áreas:

- Zona de almacenamiento.
- Circuitos de tuberías.
- Estación de bombeo.
- Cargadero de camiones cisterna.
- Vías de acceso, circulación, aparcamiento y maniobra.
- Edificio de control de las operaciones de carga y de expedición de documentos.
- Tanques para la separación de productos contaminados.
- Sistema de defensa contra incendios.
- Instalaciones auxiliares (tanques de aditivos, red de drenajes, sistema eléctrico,...).

La instalación se construyó en 1999 y satisface todos los preceptos de la Instrucción Técnica Complementaria *MI-IP02 «Parques de almacenamiento de líquidos petrolíferos»*, modificada por el Real Decreto 1562/1998, de 17 de julio.

Los principales procesos que tienen lugar en la instalación son los siguientes:

- Recepción y acondicionamiento de los productos.
- Almacenamiento.
- Carga de camiones cisterna.
- Separación de los líquidos petrolíferos y el agua.
- Defensa contra incendios.

Recepción y acondicionamiento de los productos.

La instalación recibe los combustibles por medio de un oleoducto de 10 pulgadas de diámetro. En su camino hacia los tanques, algunos de estos líquidos reciben la adición de colorantes por medio de bombas dosificadoras; este es el caso de la gasolina sin plomo (verde) y de los gasóleos B y C (rojo y azul, respectivamente).

Almacenamiento.

La zona destinada a este fin ocupa una superficie aproximada de 8 000 m² y contiene doce tanques (Tabla 2.5); en seis de ellos se almacenan productos de la clase B1 (gasolinas), y en los seis restantes productos de la clase C (gasóleos).

TABLA 2.5. Descripción de los tanques de almacenamiento

N° de tanques	Tipo	Producto	Capacidad nominal, m ³	Dimensiones, m	
				Diámetro	Altura
2	Techo fijo y pantalla flotante (1)	Gasolina 95	2 500	16,3	12,0
2	Techo fijo y pantalla flotante (1)	Gasolina 97	1 500	12,7	12,0
2	Techo fijo y pantalla flotante (1)	Gasolina 98	1 000	10,4	12,0
2	Techo fijo y succión flotante	Gasóleo A	4 000	18,7	14,6
2	Techo fijo y succión flotante	Gasóleo B	2 000	13,3	14,6
2	Techo fijo y succión flotante	Gasóleo C	1 500	11,5	14,6

(1) La unión del techo fijo con las paredes del tanque tiene menor resistencia que éstas, de modo que, en caso de sobrepresión accidental no se produzca rotura por debajo del nivel máximo de utilización.

Los tanques son de acero al carbono ASTM A-283C y satisfacen la norma API 650; sus máximas sobrepresiones y depresiones se calcularon siguiendo la norma API 2000. Cuentan con los adecuados orificios de venteo y disponen de válvulas motorizadas de accionamiento a distancia en sus principales tuberías de entrada y salida.

Existen dos cubetos, con una superficie superior a los 3 000 m² cada uno, en cuyo interior se alojan los seis tanques de cada una de las familias de productos. Cada cubeto cuenta con muros de 1,50 m de altura, resistentes a los hidrocarburos, y está compartimentado con muretes de 0,7 m de altura. Todos los cubetos cuentan con escaleras de acceso y con rampas para el acceso de vehículos.

Desde los tanques se bombean los productos a la zona de carga mediante tuberías de 4 y de 6 pulgadas de diámetro. Todos los tramos de líneas aislables cuentan con válvulas de alivio térmico con salidas hacia los tanques de almacenamiento.

Carga de camiones cisternas.

Existen cuatro isletas de carga de forma rectangular, rodeadas completamente por un bordillo que permite el paso de los camiones, pero que impide la dispersión de los posibles derrames accidentales, los cuales serían conducidos a la red de drenaje a través de unas rejillas. En cada isleta existen cuatro brazos desde los que las cisternas se cargan por su parte inferior, mediante mangueras flexibles, con un caudal aproximado de 2500 l/min en cada brazo. Se dispone de un sistema de recuperación de los vapores generados durante el llenado de los compartimentos de las cisternas (aproximadamente 10 m³/compartimento).

En la sala de control se dispone de información sobre niveles y temperaturas de los tanques, presiones de aspiración e impulsión de las bombas, estado de apertura o cierre de las válvulas motorizadas, productos en carga, situación de los brazos de carga y de las cisternas, enclavamientos en servicio, estado de las alarmas, etc.

Separación de los líquidos petrolíferos y el agua.

Existe una red de drenajes con circuitos independientes para los productos petrolíferos y para las aguas pluviales. Las aguas que contienen hidrocarburos se recogen en una arqueta de 36 m³ dotada de un separador API. El hidrocarburo separado se vierte al interior del tanque correspondiente, mientras que el agua se vierte a la red de pluviales o se recircula a la arqueta de drenajes para repetir el ciclo.

Sistema de defensa contra incendios.

El suministro de agua procede de la red pública, que posee en este emplazamiento una capacidad y presión de descarga adecuadas, complementado con un depósito enterrado de 1000 m³ de capacidad. La red de agua contra incendios está alimentada por dos grupos motobomba (eléctrico y diesel), se encuentra distribuida en malla y dotada de hidrantes con monitor que permiten disponer, de manera inmediata y en cualquier área de la instalación, del caudal de agua necesario.

Los tanques de almacenamiento cuentan con un sistema fijo de extinción de incendios por inundación de espuma y de anillos fijos de refrigeración de agua. Los sistemas fijos de extinción por espuma están también presentes en los cargaderos de cisternas (120 *sprinklers* de agua/espuma, sobre las cuatro isletas) y en la estación de bombeo. Estos sistemas pueden ser activados a distancia desde el edificio de control, con lo que se mejora la eficacia y la seguridad de las intervenciones.

El centro de transformación eléctrica y el de mando de motores están protegidos con un sistema de gas extintor.

Como complemento de todo lo anterior, el establecimiento cuenta con un elevado número de extintores de polvo portátiles, seleccionados de acuerdo con la Instrucción Técnica Complementaria MI-IP02 (Real Decreto 1562/1998).

Los procedimientos para controlar y mitigar los efectos de un accidente se describen en el Plan de Autoprotección, que se considera adecuadamente implantado y mantenido.

2.6.2. Generación y uso de la lista de comprobación

La preparación de una lista de comprobación exige una fase previa en la que debe recopilarse información relacionada con las condiciones exigibles a la instalación objeto de estudio. Para este caso particular, se ha partido de las siguientes referencias:

- Cejalvo, 1995, DRC, 1996b y 2000, Méndez, 1994a y b, 1995a y b, Turmo, 2001.
- Orden de 16 de abril de 1998.

- Reales Decretos 1942/1993, 2085/1994, 400/1996, 485/1997, 1562/1998, 1523/1999, 842/2002 y 681/2003.

En el Anexo, *Instalación de almacenamiento de líquidos petrolíferos. Lista de comprobación*, se presenta en forma tabular, el conjunto de los aspectos a verificar en la instalación, identificados a partir de la documentación anterior y de las Fichas de Datos de Seguridad de los combustibles almacenados. Las cuestiones de las listas presentan una clasificación *mixta*, en el sentido de que por una parte es posible encontrar bloques *temáticos* (Zonificación, Distancias de seguridad, etc.) y por otra *zonales* (Tanques, cargaderos, etc.).

Con respecto a una lista de comprobación *clásica*, cuya utilidad sólo fuera la de verificar la existencia o el estado de determinados elementos de seguridad, la tabla A.1 se diferencia en dos aspectos:

1ª. Se han eliminado las columnas en las que suele registrarse el resultado de la verificación (Si / No / No aplicable) y las posibles observaciones. En su lugar, se han dispuesto dos columnas con el siguiente contenido:

- Riesgo o riesgos a evitar o reducir mediante el aspecto que se está verificando.
- Elemento del modelo accidental donde ese riesgo se situaría preferentemente.

2ª. Se ha reducido el nivel de detalle con relación al que debería contener una lista de verificación «operativa», dado que se trata de un ejemplo cuyo objetivo es la identificación genérica de los riesgos y no su detección en un área, sistema, equipo o dispositivo concreto.

2.6.3. Identificación y clasificación de los aspectos de riesgo.

Esta etapa incluye el cumplimentar las columnas segunda y tercera de la lista de comprobación del Anexo. En lo que se refiere a la segunda columna, *Riesgos a evitar o reducir*, no es probable que surjan dudas; la mayor parte de los *Aspectos a verificar* sugieren de forma muy directa el riesgo que se corre si se omite ese criterio constructivo, ese dispositivo de detección o control, o esa práctica operativa.

Por el contrario, el establecer a qué *elemento/s* del modelo pertenece cada uno de los aspectos de riesgo identificados no siempre es una tarea sencilla. La mayor parte de la dificultad procede en ocasiones de la ausencia de una consideración previa y de una definición precisa de hasta dónde se puede hablar de una simple *desviación en el proceso* y a partir de qué punto debe considerarse que se trata de un *accidente*.

En un parque de almacenamiento de líquidos petrolíferos puede considerarse una *desviación en el proceso* la presencia de una nube inflamable fuera de los límites previstos

en el diseño (por ejemplo, a causa de un derrame líquido o por venteo erróneo de un recipiente) o la generación de focos calientes o chispas en el interior de esos límites (por ejemplo provocar descargas electrostáticas en la boca de carga de una cisterna); en consecuencia, todas las acciones dirigidas a detener ese derrame, a dispersar la nube o a eliminar cualquier fuente de ignición caerían dentro de una de las categorías *Control manual o Acción automática*.

Como cabría esperar, el elemento *Accidente* del modelo se reserva para los incendios; así, la pronta extinción mediante el uso de espuma, la limitación de la zona incendiada por medio de cubetos o los dispositivos responsables de evitar la propagación, son aspectos propios del elemento *Eficacia de los medios de mitigación*.

Las tablas 2.6 y 2.7 proceden casi directamente de las A.1 del Anexo, aunque muestran con mayor claridad qué aspectos del riesgo se han clasificado dentro de cada uno de los elementos del modelo. El análisis, en lo que sigue, se limita al área de carga de cisternas por razones de brevedad; su extensión al resto del establecimiento resulta directa.

TABLA 2.6. Identificación y clasificación de aspectos de riesgo.

Elemento en el modelo	Aspectos de riesgo
Diseño y conservación de la instalación.	Cualquier aspecto no adecuado en relación con: <ul style="list-style-type: none"> - Recogida y evacuación de derrames líquidos. - Espacios de circulación y estacionamiento. - Interconexión eléctrica de tuberías y estructuras y de éstas con tierra. - Dispositivos para conexión a tierra de las cisternas. - Enclavamientos ante fallo en conexiones a tierra. - Programa de inspección de los sistemas de conexión equipotencial. - Selección, inspección y conservación de mangueras. - Enclavamiento ante movimientos del camión. - Iluminación del cargadero. - Enclavamientos ante sobrellenados. - Programa de inspección de los dispositivos preventivos del sobrellenado. - Válvulas con accionamiento a distancia para aislar el camión cisterna de la instalación con interruptores estratégicamente situados. - Instalaciones fijas y móviles de extinción.
Prácticas de operación y actuación en emergencias.	Cualquier aspecto no adecuado en relación con las obligaciones siguientes: <ul style="list-style-type: none"> - Cargar con motor parado los productos de la clase B. - Limitar la velocidad de carga si la conductividad no supera los 50 pS/m. - Evitar la carga de una cisterna que ha llevado un líquido de bajo punto de inflamación, con otro cuyo punto sea alto.

TABLA 2.6 (cont.). Identificación y clasificación de aspectos de riesgo

Elemento en el modelo	Aspectos de riesgo
	<ul style="list-style-type: none"> - No colocar objetos conductores sobre la cisterna durante la carga, ni poco después de que ésta haya finalizado. - Dejar al producto un tiempo de relajación suficiente, si éste ha atravesado un filtro en su camino al cargadero. - Aportar un aditivo antiestático para garantizar que la conductividad supera los 50 pS/m. - Disponer de un procedimiento documentado para la carga de cisternas. - Inmovilizar los camiones mediante el freno de mano o calzos. - Verificar el vaciado total de cada compartimento. - Inspeccionar visualmente las mangueras, antes de cualquier utilización y conservarlas en lugar adecuado. - Vigilar permanentemente las actividades de carga. - Vaciar o aspirar las tuberías hasta las válvulas. - Eliminar rápidamente y de manera segura cualquier fuga de líquido. - Controlar los niveles máximo y mínimo de llenado de las cisternas y el cerrado de sus bocas.
Acciones externas.	<p>Impacto entre un vehículo y la instalación o contra otro vehículo.</p> <p>Ignición por cargas electrostáticas durante el proceso de carga (generación de chispas al introducir una regleta en la cisterna, p. ej.).</p> <p>Errores de operación respecto al procedimiento de carga de cisternas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - provocados por condiciones de baja iluminación. - a los que ha contribuido el hecho de que no todas las conexiones y válvulas importantes indican claramente su función (producto, tanque, etc.). - distracciones en las operaciones de carga controladas por un operador mediante la vigilancia del nivel o de la cantidad transferida. <p>Movimientos o marcha del camión durante la carga, mientras que permanece conectado a la instalación y en proceso de carga.</p>
Condiciones latentes.	<p>Zonificación incorrecta o equipo eléctrico defectuoso.</p> <p>Presencia inadvertida de vapores de bajo punto de inflamación, durante el proceso de carga de un producto de alto punto de inflamación.</p> <p>Generación inadvertida de cargas electrostáticas, como consecuencia del paso del producto por un filtro.</p> <p>Capacidad del producto para generar cargas electrostáticas como consecuencia de su baja conductividad.</p> <p>Debilitamiento de la manguera por incompatibilidad química.</p> <p>Debilitamiento inadvertido de la manguera durante el uso.</p> <p>Utilización de una manguera cuyo mal estado se desconoce, por falta de inspección visual previa.</p> <p>Deterioro inadvertido de la manguera por mal almacenamiento.</p> <p>Fallos no detectados en los enclavamientos ante sobrellenados.</p> <p>Fallos no detectados en las bombas dosificadoras de control de la cantidad transferida, con interrupción automática.</p>

TABLA 2.6 (cont.). Identificación y clasificación de aspectos de riesgo

Elemento en el modelo	Aspectos de riesgo
Control manual.	<p>Cualquier aspecto no adecuado en el control de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La ignición provocada por el motor del camión o por su sistema eléctrico. - La generación de cargas electrostáticas durante el proceso de carga, por excesiva velocidad del fluido. - La existencia de cualquier problema que se ponga de manifiesto durante la operación de descarga. - La liberación de cantidades importantes de líquido inflamable tras la detección de un problema, relacionada con la actuación sobre las válvulas de cierre rápido. - La extensión de una fuga líquida hasta formar un charco de gran superficie, relacionada con los elementos y sistemas de recogida.
Acción automática.	<p>Cualquier aspecto no adecuado en el control no manual de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La extensión de una fuga líquida hasta formar un charco de gran superficie. - La generación de cargas electrostáticas entre tuberías y estructuras. - La generación de cargas electrostáticas entre el sistema de tuberías y el camión. - El comienzo de la operación de carga sin las adecuadas conexiones a tierra. - El deterioro y pérdida de funcionalidad de los sistemas de conexión equipotencial. - La generación de cargas electrostáticas durante el flujo del producto por la manguera - Los derrames debidos al movimiento o a la marcha del camión durante la carga.
Eficacia de los medios de mitigación.	<p>Acceso difícil o incluso imposible en caso de intervención. Cualquier aspecto relacionado con deficiencias en el diseño, conservación o acceso a los sistemas de enfriamiento y extinción (agua, espuma y sistemas móviles).</p>
Eficacia de la gestión de la emergencia.	<p>Acceso difícil o incluso imposible en caso de intervención.</p>

TABLA 2.7. Resto de elementos del modelo

Operaciones o estados normales.	El estacionamiento de cisternas, su aproximación, carga y salida. El estado de reposo del cargadero, en ausencia de cisternas. Las labores de limpieza y mantenimiento del cargadero.
Desviaciones en el proceso.	Derrame por sobrellenado. Liberación de pequeñas cantidades de líquido inflamable durante la desconexión de las mangueras. Liberación por rotura o agrietamiento de la manguera de carga. Liberación de cantidades importantes de líquido inflamable, incluso tras la detección precoz de una fuga. Existencia de condiciones que puedan crear un foco de ignición en puntos donde resulta inevitable la presencia de mezclas inflamables (interior de la cisterna, por ejemplo).
Accidente.	Cualquier incendio o explosión importantes.

2.6.4. Escenarios accidentales

Las tablas 2.6 y 2.7 permiten identificar los aspectos que pueden encadenarse en forma de árbol de sucesos para crear cada una de las secuencias que constituyen los diversos escenarios accidentales. El por dónde empezar depende de la finalidad que se persiga: alguien interesado en conocer sólo cómo puede llegarse a una desviación en el proceso, iniciará el árbol por alguna de las acciones externas, comprobará si alguna de las posibles condiciones latentes es capaz de precipitar o agravar el resultado, revisará el papel de los sistemas de regulación automática, alarmas, etc. y obtendrá un árbol en cuyos resultados aparecerán las desviaciones del proceso, junto a otras ramas representativas del éxito de algunos sistemas de seguridad.

Por el contrario, si la finalidad fuera la de estudiar las posibles consecuencias finales de una desviación en el proceso, el analista usaría ésta como suceso iniciador y se preguntaría qué aspectos del control manual y de las acciones automáticas se pondrían en juego y en qué orden. Finalmente, haría intervenir los aspectos incluidos en la eficacia de las acciones de mitigación y de gestión de las emergencias para tratar de evaluar las posibles consecuencias del accidente.

Para la finalidad de este ejemplo, se ha elegido como incidente un derrame por sobrellenado durante la carga de un camión cisterna.

Suceso iniciador.

Se trata de la presencia inadvertida de gasolina (~ 400 litros) en uno de los compartimentos de la cisterna, provocada por la descarga incompleta del líquido que éste contenía, a causa del cierre intempestivo de su válvula de fondo (obturador interno), en el porte inmediatamente anterior. El conductor había omitido la preceptiva verificación del vaciado

de la cisterna antes de iniciar la carga y programó un volumen que superaba la capacidad libre de ese compartimento. Con esa condición latente presente, se inició la carga con un caudal que supera ligeramente los 40 l/s, pero que disminuye a medida que el volumen transferido se acerca al programado.

Aún partiendo de un compartimento vacío, se podría presentar una situación de peligro de sobrellenado semejante a la descrita por otras dos vías: programando erróneamente un volumen superior a la capacidad nominal del recipiente (acción externa) o por fallo del contador volumétrico que interrumpe la carga cuando se alcanza el volumen programado (condición latente).

Funciones de seguridad.

En primer lugar, se cuenta con una sonda de nivel que, al detectar un sobrellenado, actúa cerrando una electroválvula en la línea de carga. Este sistema puede producir tres clases de resultados:

- Cierre de la válvula con la suficiente antelación para evitar el derrame.
- Cierre de la válvula, pero en un momento en el que la inercia del sistema pueda dar lugar a un pequeño derrame.
- Fallo en su función de cerrar la válvula, permitiendo un derrame continuado.

En segundo lugar, existe la posibilidad de activar manualmente el cierre de las electroválvulas, mediante unos pulsadores situados localmente y también en el cuarto de control (parada de emergencia). Esta es una función de seguridad cuyos resultados dependen del tiempo que se tarde en actuar sobre los pulsadores. Podría considerarse un éxito que la actuación tuviera lugar antes de 5 segundos (unos 100 litros derramados) y un fallo el que se superara ese periodo.

La tercera de las funciones de seguridad es el corte automático cuando se ha alcanzado el volumen programado; si el suceso iniciador es el que se ha descrito, el éxito de este sistema limitaría el derrame a una cantidad inferior a 400 l; su fallo no daría lugar a un derrame ilimitado, porque se debe contar con que en todo caso se activarán los pulsadores de parada de emergencia. Por tanto, en el árbol se prescindirá de esta función, considerando que actúa en paralelo con el corte de emergencia.

Resumiendo los resultados que puede esperarse razonablemente de la combinación del suceso iniciador y de las funciones de seguridad implantadas son:

- Ausencia de derrame.
- Derrame mínimo (< 25 litros).
- Derrame intermedio (25-100 litros).
- Derrame importante > (100 litros).

Continuando con las funciones de seguridad, la disposición del cargadero es tal que cualquier derrame accidental fluye rápidamente hacia un sumidero, situado fuera de la proyección vertical del vehículo y conectado con la red de aguas hidrocarburadas. El éxito de esta función consiste en evitar la existencia de charcos de líquido inflamable en los alrededores de la cisterna.

Para el caso de obstrucción del sumidero o en cualquier circunstancia en la que se haya confinado un derrame y se quiera limitar su emisión de vapores, existen sistemas fijos y móviles de espuma para cubrir su superficie. Se trata de una función de seguridad, cuyo éxito se cifra en la eliminación efectiva del riesgo de ignición retardada de una superficie de líquido inflamable o de los vapores de éste.

Finalmente, la instalación cuenta con un separador para la depuración de las aguas hidrocarburadas, cuyo funcionamiento correcto da lugar a una separación eficaz del agua y de los hidrocarburos.

La figura 2.5 muestra el árbol de sucesos correspondiente al suceso iniciador y a las funciones de seguridad enumeradas. Los resultados se han identificado con un código que corresponde a las funciones de seguridad que han tenido que fallar para que se llegue a esa situación. La descripción detallada de cada resultado se recoge en la tabla 2.8.

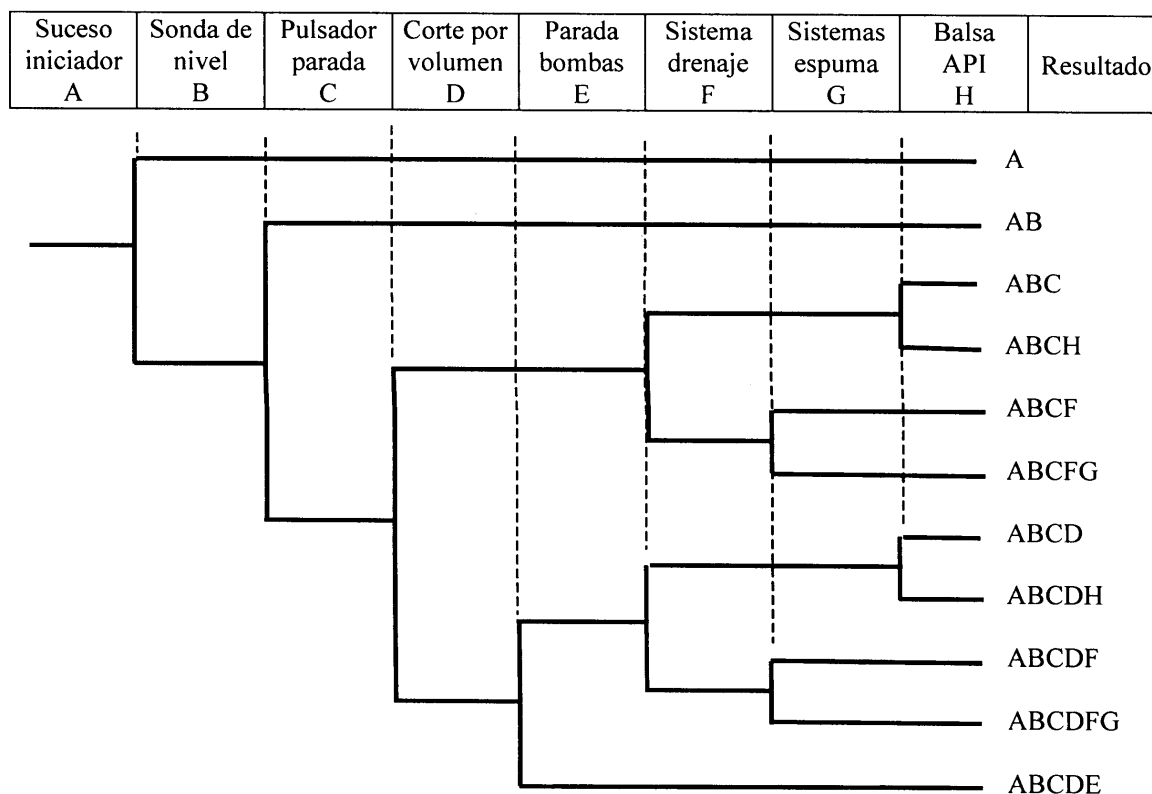


FIGURA 2.5. Árbol de sucesos en ausencia de ignición.

TABLA 2.8. Secuencias y resultados de los escenarios del árbol de la figura 2.5

Secuencia	Resultados
A	La sonda de nivel ha cerrado la electroválvula impidiendo el derrame. Deberá comprobarse si el grado de llenado del compartimento excede del máximo autorizado, vaciando, en su caso, el exceso.
AB	El fallo –o el retraso en la actuación– del sistema de corte por alto nivel ha permitido un derrame que afecta, en primer lugar, a la propia cisterna y a un área limitada a su alrededor. Se requiere el más estricto control de las fuentes de ignición, incluyendo la inmovilización del camión, la absorción y eliminación del vertido y una limpieza escrupulosa del área.
ABC	Ha fallado el corte por alto nivel y se ha llegado al corte por volumen transferido antes de poder actuar sobre los pulsadores de emergencia. Se ha derramado una cantidad de producto que ha fluído en parte por el drenaje. Se ha controlado la balsa separadora evitando el vertido de hidrocarburos a los cauces públicos.
ABCH	Secuencia semejante a la anterior, pero con ausencia de control en la balsa separadora y vertido de una cantidad poco significativa de líquidos hidrocarbureados.
ABCF	Con un volumen de derrame relativamente importante, el fallo en el sistema de drenaje, ha obligado a cubrirlo con espuma. Se hace necesario un periodo de cierre del cargadero hasta que se elimine el producto
ABCFG	La situación anterior, pero con fallo en la aplicación de espuma. Emisión de vapores y elevado riesgo de ignición.
ABCD	El derrame sólo se ha interrumpido mediante la parada de las bombas. A través del drenaje, una cantidad importante del producto ha alcanzado la balsa separadora. Un buen control sobre la misma ha evitado el vertido al exterior de la instalación.
ABCDH	En la situación anterior, se ha perdido el control sobre la balsa separadora y se han vertido cantidades importantes de hidrocarburos.
ABCDF	En la situación de mayor volumen derramado, un fallo en el drenaje ha provocado el embalse del producto en la zona de carga. Se ha conseguido cubrirlo de espuma y se inician las labores de recogida y limpieza.
ABCDFG	Es la situación anterior, en el supuesto de que fallara el proceso de cubrir el charco con espuma. Peligro de ignición de la nube de vapor.
ABCDE	Es una situación altamente improbable caracterizada por un derrame de mayor duración. El control de la balsa separadora resulta esencial para evitar el vertido al exterior de aguas hidrocarbureadas.

Otras circunstancias capaces de modificar los resultados.

El árbol analizado corresponde a escenarios de los que está ausente la ignición de los vapores procedentes de la gasolina derramada. El control efectivo de las fuentes de ignición es el resultado de medidas de *control manual* (parada del motor, desconexión de la batería del vehículo, etc.) y de *acción automática* (instalación eléctrica, conexiones equipotenciales, etc.). Un fallo en alguna de estas medidas, o la ubicua presencia de la electricidad estática, puede provocar la ignición de los vapores inflamables en cualquier momento y lugar de los escenarios descritos. Este hecho multiplica el número de árboles posibles, si bien el análisis de los más probables ofrece una visión fácilmente extrapolable a los demás.

Así pues, para completar la hipótesis del derrame por sobrellenado, se ha supuesto que se produce la ignición de los vapores del producto derramado, inmediatamente después de que el rebose se haya interrumpido por actuación sobre los pulsadores de parada de emergencia o por haberse transferido ya la cantidad programada.

Por tanto, en las dos ramas que surgen del nodo C, se intercala un nuevo nodo correspondiente a la posibilidad de ignición. Las ramas superiores de ese nodo –el control efectivo de las fuentes de ignición– mantienen los escenarios descritos en la figura 2.5. Las ramas inferiores del nodo –la presencia y el efecto de una fuente de ignición– dan lugar a nuevas secuencias accidentales, en las que intervienen otras funciones de seguridad que se comentan a continuación.

Otro nodo que corresponde a la función de seguridad basada en los extintores portátiles de polvo seco, se ha asociado exclusivamente a la rama superior del nodo C, es decir a derrames de pequeño volumen, puesto que en un incendio de gran magnitud se acudiría directamente a otros medios. El éxito de esta función supone el que el propio conductor de la cisterna o un operador cercano al suceso consiguen extinguir el fuego.

El cargadero cuenta, como se ha apuntado en la descripción de las instalaciones, con un sistema fijo de espuma compuesto por un conjunto de rociadores dispuestos en el techo de la zona de carga. Pueden activarse mediante pulsadores situados tanto en la sala de control, como localmente, o bien pueden abrirse manualmente las válvulas que los ponen en funcionamiento. Su eficacia es muy elevada y la posibilidad de que fallen ante una demanda es remota. La ramificación superior de este nodo debe interpretarse como la extinción inmediata del incendio, mientras que la inferior correspondería a un fallo total del sistema de espuma o a que el incendio ha superado la superficie cubierta por el efecto de los rociadores y se precisa de medios complementarios.

Todo el personal de la instalación de almacenamiento se encuentra formado para actuar como equipo de primera intervención en caso de siniestro. El jefe de la instalación, el operador de la sala de control y los dos operadores de campo, cuentan con los medios de protección personal y con los sistemas de extinción móviles necesarios para complementar, en su caso, la acción de los sistemas fijos. No obstante, el Plan de Autoprotección del

establecimiento establece la necesidad de que, en paralelo con la decisión de que intervenga este equipo, se solicite ayuda exterior. La rama superior de la función de seguridad representada por el equipo de primera intervención corresponde al hecho de que éste logre extinguir el incendio antes de la llegada de esa ayuda externa.

Se ha previsto en el árbol de sucesos de este segundo caso, una circunstancia que puede agravar notablemente los resultados del accidente. Se trata de la posibilidad de que la propia cisterna se encuentre afectada por el incendio. Si el diseño y el mantenimiento de la superficie del cargadero son los correctos, no se habrá producido una acumulación significativa de líquido bajo la cuba del vehículo; en caso contrario puede producirse el colapso, la explosión o el incendio de otros compartimentos cargados de combustibles. Por tanto, la rama superior de este nodo no debe interpretarse como que la cisterna sí está afectada, sino como el éxito de los sistemas responsables de evitarlo.

Finalmente, se ha reservado un último nodo bajo la denominación genérica de *Gestión de la emergencia*. Corresponde al caso límite en el que el incendio haya superado la capacidad de respuesta del establecimiento, la cisterna se haya visto involucrada, etc. Se incluyen en el concepto la prontitud de actuación y la eficacia de los medios externos, la evacuación ordenada de otros camiones cisterna que pudieran estar cargando o esperando turno de carga, etc. Su éxito se cifra en el control del alcance del incendio, en su extinción y en la atención urgente a los posibles accidentados.

El nuevo árbol correspondiente a la presencia de ignición se representa en la figura 2.6 y sus resultados se detallan en la tabla 2.9.

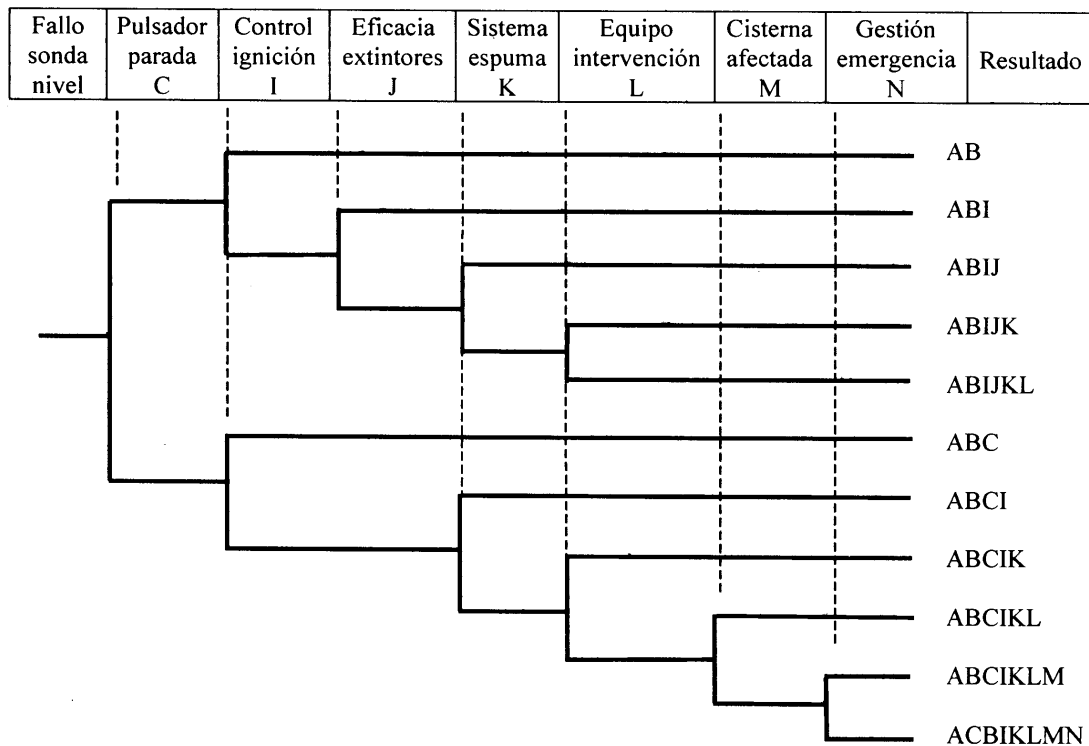


FIGURA 2.6. Árbol de sucesos en presencia de ignición.

TABLA 2.9. Secuencias y resultados de los escenarios del árbol de la figura 2.6

Secuencia	Resultados
AB	El fallo –o el retraso en la actuación- del sistema de corte por alto nivel ha permitido un derrame que afecta, en primer lugar, a la propia cisterna y a un área limitada a su alrededor. Se ha conseguido controlar las fuentes de ignición y se ha limpiado el área.
ABI	Se ha producido un incendio de pequeñas proporciones, que ha sido controlado mediante el empleo de los extintores de polvo seco
ABIJ	Se ha producido un incendio de pequeñas proporciones que ha requerido el disparo de los rociadores de espuma para su extinción.
ABIJK	Se ha producido un incendio cuya ubicación ha hecho necesaria la intervención complementaria del equipo de primera intervención para su extinción.
ABIJKL	Es un escenario que limita con los de la rama inferior del nodo C. El tamaño del incendio está resistiendo la actuación de todos los medios anteriores y requerirá la presencia de ayuda externa.
ABC	Ha fallado el corte por alto nivel y se ha llegado al corte por volumen transferido antes de poder actuar sobre los pulsadores de emergencia. Se ha derramado una cantidad de producto que ha fluido en parte por el drenaje. No se ha producido la ignición Se ha controlado la balsa separadora evitando el vertido de hidrocarburos a los cauces públicos.
ABCI	Se ha producido un incendio cuya magnitud ha aconsejado el disparo de los rociadores de espuma, los cuales han logrado su inmediata extinción.
ABCIK	Se ha producido un incendio cuya magnitud ha aconsejado el disparo de los rociadores de espuma, los cuales no han logrado su completa extinción. Ha actuado eficazmente el equipo de primera intervención completando las labores de extinción.
ABCKIL	Se ha producido un incendio cuya magnitud ha aconsejado el disparo de los rociadores de espuma, los cuales no han logrado su completa extinción. Aunque se precisará ayuda externa para completar la extinción del incendio, éste se limita a una zona que no es probable que llegue a afectar a la cisterna que se hallaba cargando.
ABCIKLM	El incendio está afectando a la cisterna, pero la gestión de la emergencia está siendo la correcta; están actuando los servicios de intervención externos, se ha atendido a los posibles accidentados, se han retirado ordenadamente los restantes vehículos, el personal no necesario ha sido evacuado, etc.
ABCIKLMN	Es el peor de los escenarios; todos los esfuerzos por extinguir el fuego con los medios internos están resultando insuficientes, la cisterna se halla afectada por el fuego y el resto de los procedimientos previstos en el ámbito de la gestión de las emergencias están resultado inferiores a lo adecuado.

El análisis del riesgo llevado a cabo para el cargadero, ha permitido evaluar algunos escenarios que van desde el simple derrame sin consecuencias, hasta incendios con capacidad para devastar el propio cargadero y quién sabe si algunas infraestructuras próximas. También habrá cumplido la misión de alertar ante aspectos peligrosos tales como: olvidos o negligencias en los procedimientos de carga, pulsadores de emergencia de difícil acceso o mal señalizados, suelos sin las pendientes adecuadas, poca formación o adiestramiento en el manejo de extintores, etc.

El titular de un establecimiento como el que se ha ejemplificado, debería ampliar el análisis, con un procedimiento semejante, al resto de las áreas peligrosas de su instalación y, en concreto, a los tanques de almacenamiento, las bandejas de tuberías, los centros de bombeo, los depósitos de aditivos, etc.

El uso de las listas de comprobación

Una lista de comprobación es una relación ordenada y detallada de los atributos que se desean en un sistema o de la secuencia de actividades que ha de llevar a cabo un operador o un dispositivo automático. En términos generales, la lista se redacta desde la experiencia y se utiliza para evaluar la aceptabilidad o el estado del sistema u operación en comparación con algunos criterios establecidos previamente (CCPS, 1992).

Existe un amplio conocimiento sobre la operación de algunos sistemas tecnológicos tales como medios de transporte, equipos de telecomunicaciones, procesos químicos, operaciones unitarias, sistemas a presión, instrumentos de medida y regulación automática, etc. Este conocimiento de los aspectos operativos, que puede aprovecharse completamente mediante el empleo de listas de comprobación, se obtiene a partir de:

- La experiencia personal, o compartida, sobre una situación dada.
- La conciencia de que una situación determinada es similar a otra anómala de la cual ya se dispone de experiencia.
- La investigación científica del comportamiento de un equipo o de las propiedades de una sustancia.
- El conocimiento acumulado en códigos de buenas prácticas (normas, reglamentos, etc.).

Cualquier análisis basado en listas de comprobación utiliza, por tanto, una relación escrita de aspectos o etapas procedimentales, con los que verifica el grado de aproximación entre el estado real de un sistema y el que resultaría exigible en base a la experiencia acumulada sobre el mismo. Así, una lista de comprobación resulta esencialmente una forma empírica y simple de aplicar la experiencia a los diseños, a las instalaciones o a las operaciones, para asegurar que los aspectos que aparecen en la lista –y que suelen ser los más críticos– no se olvidan.

Las listas de comprobación extienden su utilidad a cualquiera de las etapas del ciclo de vida de un sistema, incluyendo su diseño, fabricación, comercialización, uso y abandono o reciclado. En el caso particular de las industrias de proceso químico, se ha desarrollado una gran variedad de listas que cubren las etapas del diseño, puesta en servicio, operación,

mantenimiento y puesta fuera de servicio, incluyendo numerosos aspectos relativos a la calidad, la seguridad y los aspectos medioambientales.

3.1. UTILIDAD Y LIMITACIONES DE LAS LISTAS DE COMPROBACIÓN

Aunque pueden encontrarse para ellas otras aplicaciones más específicas, las listas de comprobación se emplean como instrumento de:

- Verificación de diseños e instalaciones.
- Adquisición de familiaridad con un sistema o procedimiento.
- Identificación de peligros.

En la primera de las funciones enumeradas, las listas de comprobación se usan para verificar el estado de un diseño, un proceso, un material, un procedimiento, un sistema o un equipo en particular. La comparación se realiza frente a reglamentos, códigos, normas, procedimientos normalizados o simplemente frente a las prácticas que una compañía ha normalizado a lo largo de años de experiencia. De hecho, una opción útil para mejorar la gestión del conocimiento en una organización consiste en el mantenimiento, revisión, actualización y aplicación de estas listas, en las que las sucesivas generaciones de técnicos y operadores pueden ir dejando reflejadas sus experiencias sobre el diseño o la operación de cada sistema en particular.

Muchas organizaciones usan listas de comprobación normalizadas para controlar el desarrollo de un proyecto, desde el diseño inicial hasta las operaciones de demolición y gestión de los residuos. La lista de comprobación cumplimentada debe ser aprobada por varios miembros de la organización antes de que el proyecto pueda pasar de una etapa a la siguiente, sirviendo de esta forma como un medio de comunicación y como un instrumento de control. Desempeñan, por tanto, un papel muy útil en las diferentes etapas de cualquier diseño, para asegurarse de que se tiene en cuenta la experiencia y de que no se pasan por alto las consideraciones básicas generales. Las listas facilitan también una base común para la revisión por la dirección de las evaluaciones de los analistas de un proceso u operación.

En la segunda de las aplicaciones citadas, las listas pueden usarse para que el personal recién incorporado a un puesto de trabajo se familiarice con el proceso que debe controlar, haciendo que compare los atributos de ese proceso con los requisitos de una o varias listas de comprobación.

La tercera de las utilidades propuestas, la identificación de peligros, es la sustancial a los efectos de la presente Guía, por lo que el resto del capítulo está dedicado de forma exclusiva a esa aplicación.

3.1.1. Identificación de peligros

Se admite generalmente que la eficacia de un proceso de identificación de peligros depende de estos dos factores:

- El conocimiento y la experiencia que se posee sobre esos peligros.
- El uso de un método sistemático que asegure que esos conocimientos se aplican.

Las listas, como se viene indicando, constituyen una recopilación de los conocimientos y la experiencia que se poseen sobre un sistema, pero también sobre sus peligros y sobre los medios necesarios para evitar que éstos se materialicen. La propuesta de una metodología para conseguir que esos conocimientos se articulen dando lugar a una evaluación de riesgos, al menos cualitativa, es uno de los objetivos principales de esta Guía.

En su aplicación a la identificación de peligros, las listas contienen una relación de aspectos peligrosos, situaciones potencialmente accidentales u otras preocupaciones sobre la seguridad de los procesos, basadas en la experiencia y usadas para estimular la identificación de situaciones peligrosas para un proceso u operación.

El conjunto de técnicas de identificación de peligros que recurre básicamente al conocimiento obtenido de la experiencia ha sido descrito como Métodos Comparativos (Parry, 1986). Estos métodos pueden tomar la forma de una lista de comprobación o pueden usar códigos de buenas prácticas, como una norma mínima frente a la cual puedan contemplarse las desviaciones respecto a lo que la experiencia ha establecido como prácticas seguras.

Las listas de comprobación son pues un método comparativo y pueden deducirse sólo de la experiencia (incluyendo códigos de buenas práctica y normas) o pueden generarse, para un tipo de planta en particular, a partir de la aplicación de técnicas fundamentales, evitando la necesidad de repetir todo el estudio cuando se considera un diseño muy similar.

Las listas de comprobación se consideran un procedimiento eficiente para identificar peligros comunes, deficiencias en el diseño de los procesos, situaciones accidentales potenciales asociadas con equipos (almacenamientos, distribución en planta, sistemas eléctricos,...), operaciones de proceso impropias, etc. Para esta función, la lista debe ser específica de la instalación a analizar y nutrirse de la experiencia acumulada en esa instalación y en otras similares.

Una lista de comprobación detallada proporciona las base para una evaluación normalizada de los peligros de un proceso. Puede ser tan extensa como sea necesario para satisfacer la situación específica, pero debería aplicarse con el suficiente detalle para identificar problemas que requieran atención adicional. Las listas de comprobación genéricas se combinan frecuentemente con otras técnicas de evaluación de peligros para evaluar áreas o situaciones especialmente peligrosas.

Un par de ejemplos, extraídos de listas de comprobación, contribuirán a precisar los conceptos que se vienen exponiendo:

- En el almacenamiento de oxiclорuro de fósforo (R14; reacciona violentamente con el agua), la lista indica que se verifique si *las canalizaciones del agua de lluvia, procedente de los tejados, se conducen a los desagües por el exterior de los almacenes*. Se pone así de manifiesto el peligro derivado de que la rotura de una de esas canalizaciones (golpes por vehículos en movimiento) o la obstrucción de las mismas (suciedad, hielo, etc.) facilitara la entrada de agua en el almacén.
- En una instalación de almacenamiento de líquidos inflamables, la lista indica la necesidad de comprobar si *los materiales de recubrimiento de los suelos en las zonas peligrosas son suficientemente conductores*, así como si *los operadores y los conductores están obligados a utilizar calzado con suelas antiestáticas*. La lista está así alertando del peligro de que una descarga electrostática generada como consecuencia del movimiento de los operadores, actúe como foco de ignición ante una eventual nube de gas inflamable.

3.1.2. Limitaciones del método

Las listas de comprobación son el método más básico para la identificación de peligros; como cabría esperar, ese carácter básico lleva asociadas algunas limitaciones e inconvenientes, que se comentan a continuación.

Omisiones en las listas.

Al tratarse de un método comparativo, la identificación de peligros mediante listas de comprobación es tan completa como lo sean las listas que se utilizan como referencia. Es altamente probable que los aspectos no incluidos en las listas sean pasados por alto en el proceso de análisis. Cuando las listas se extraen de manuales o de fuentes similares, el menor de los inconvenientes es que muchas de las preguntas puede que no sean aplicables al proceso que está siendo estudiado; lo más grave es que puedan presentarse peligros tan inusuales que no se encuentren en las listas de comprobación estándares (USCG, 2003a).

El progreso en el conocimiento de los peligros de los sistemas y las sustancias presentes en las plantas de proceso químico, junto con las actuales posibilidades de acceso a la información, han reducido notablemente las dimensiones de esta limitación.

Exceso de confianza en el analista.

Para que una lista de comprobación sea completa es muy probable que, durante su fase de creación, haya sido necesario incluir en ella muchas preguntas; más adelante, a medida que la experiencia de la operación recoge problemas, la lista va aumentando con nuevos

aspectos a comprobar. Ante una lista voluminosa, el analista puede confiarse pensando que todos los aspectos que podrían cuestionarse han sido incluidos en la lista, sin poder confirmar que este es efectivamente el caso. Esto puede representar un problema en la medida en que la lista conduzca al analista a una actitud mecánica de comprobación, anulando o minimizando su capacidad crítica.

Dificultades en procesos nuevos.

El método de las listas de comprobación no es capaz de llegar al examen fundamental de los peligros de un proceso (aunque sí puede alertar acerca de la necesidad de tal examen). De hecho las listas de comprobación son muy eficaces si el grado de innovación de un proceso es escaso o nulo y todos sus peligros han sido identificados con anterioridad, pero son menos satisfactorias cuando el diseño es nuevo. Por tanto, en el caso del diseño de nuevos procesos e incluso en la operación de equipos e instalaciones poco comunes, se hace aconsejable el empleo de métodos con un enfoque más creativo.

Limitaciones en los resultados.

En instalaciones en las que pueda presentarse un accidente muy grave, el apoyarse exclusivamente en las listas de comprobación no permitiría considerar con suficiente profundidad qué podría ir mal y cómo. Como tales, las listas de comprobación sólo deberían aplicarse durante las etapas preliminares de la identificación de peligros y no deberían usarse como alternativa a técnicas de identificación de riesgos más completas.

Esta última limitación es la que ha conducido, en la preparación de esta Guía, a recomendar la complementariedad entre este método básico y el de los árboles de sucesos, como metodología de mayor alcance en la determinación de sucesos y secuencias accidentales.

3.2. ESTRUCTURA FORMAL DE LAS LISTAS

Dos aspectos caracterizan la apariencia de una lista de comprobación: el criterio utilizado para clasificar las cuestiones de la lista y el número y contenido de las columnas que deben rellenarse en cada cuestión. A continuación se repasan las posibilidades existentes, en cada uno de esos aspectos.

3.2.1. Clasificación de las cuestiones

Las preguntas incluidas en las listas de comprobación deben agruparse de acuerdo con algún criterio definido, de modo que se facilite la fase de comprobación y el posterior análisis de los resultados.

No siempre es posible encontrar una forma de clasificar que favorezca simultáneamente a ambas fases; en general, los agrupamientos por áreas geográficas tienden a facilitar la fase de toma de datos, mientras que los basados en el flujo del proceso o en la naturaleza de los riesgos simplifican la etapa del análisis.

Una posibilidad simple consiste en clasificar las cuestiones en estos cuatro grupos:

- Aspectos relacionados con el emplazamiento.
- Productos químicos involucrados en las instalaciones.
- Equipos.
- Procedimientos de trabajo.

La tabla 3.1 recoge una clasificación más detallada, ampliamente aceptada en la industria de proceso químico (Parry, 1986).

TABLA 3.1. Clasificación adecuada para una industria de proceso químico

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">1. Elección, situación y distribución del emplazamiento.2. Materias involucradas en los procesos.3. Reacciones químicas, condiciones del proceso y análisis de alteraciones.4. Equipos de proceso.5. Almacenamiento y manejo de sustancias peligrosas.6. Manejo y eliminación de productos residuales peligrosos.7. Aspectos relativos a la ingeniería civil.8. Zonificación y clasificación de zonas.9. Protección contra incendios.10. Planificación general de las emergencias. |
|---|

Tras esa primera clasificación, es necesario subdividir cada una de las clases; en la tabla 3.2 se propone una de esas subdivisiones aplicada a la clase *Elección, situación y distribución del emplazamiento*.

Dado que es prácticamente inexcusable que la lista de comprobación se adapte a cada instalación en particular, el analista decide qué grupos deben estar presentes y en qué orden. A modo de ejemplo, la tabla 3.3 recoge el agrupamiento que propone el Comité Técnico Europeo del Flúor para las instalaciones donde se consume fluoruro de hidrógeno licuado (CTEF, 1993).

TABLA 3.2. Subdivisión de la «Elección, situación y distribución del emplazamiento»

Subdivisión	Aspectos a comprobar
1.1 Impacto de accidentes en las instalaciones vecinas y en las redes de transporte.	Instalaciones independientes localizadas en el mismo establecimiento. Instalaciones en el exterior de la valla. Transporte de sustancias peligrosas (por carretera, barco, f.f.c.c., tuberías, etc.).
1.2 Interdependencia funcional con las actividades vecinas.	Instalaciones. Tuberías. Servicios comunes.
1.3 Redes y centros de transporte.	Carreteras de la planta, incluyendo las de acceso. Vías públicas cercanas al establecimiento. Ferrocarriles, aeropuertos, etc.
1.4 Fuentes de peligros naturales.	Lluvias extremas, tormentas, inundaciones,... Temperaturas extremas, incendios forestales, ... Actividad sísmica, subsidencia,...
1.5 Redes adyacentes o cercanas.	Alcantarillado, redes hidráulicas, ...

TABLA 3.3. Grupos en la lista de comprobación de instalaciones de consumo de HF

Grupo	Aspectos a comprobar
1. Descarga.	Área de descarga, instalaciones, procedimiento de descarga.
2. Almacenamiento del líquido.	Situación del tanque, diseño, accesorios, operación, procedimientos de emergencia, mantenimiento e inspecciones periódicas, seguridad y alarmas.
3. Tuberías.	Materiales, dimensiones, bridas, juntas, tornillos,...
4. Vaporización.	Diseño, medio de calefacción, detección de fugas,...
5. Sistema de absorción de seguridad.	Presencia, tamaño, capacidad de absorción, cantidad de absorbente, trampas para HF líquido,...
6. Servicios.	Aire de instrumentos, gases de purgado, desagües.
7. Consideraciones generales y sistema de gestión de la seguridad.	Información sobre la seguridad del proceso, prácticas de operación, instrucciones de seguridad, integridad de los equipos, análisis de los peligros del proceso, prácticas de trabajo seguro, formación, gestión de las modificaciones, revisiones de puesta en marcha, ...

3.2.2. Contenido de las tablas

En su forma más elemental, una lista de comprobación sólo contiene una columna con el aspecto a comprobar y otra con el resultado de la comprobación. Las listas más completas incluyen las siguientes columnas (CRC, 1998):

1. Un código relativo al número de orden de la cuestión.
2. El riesgo que se quiere anular o reducir, o el objetivo de seguridad a alcanzar.
3. Las medidas que deben hallarse implantadas para asegurar esa reducción del riesgo o la consecución de ese objetivo. En el caso de ciertos riesgos, la lista de comprobación puede ofrecer medidas alternativas. Unos sencillos símbolos ayudan a diferenciar las medidas alternativas de aquellas que deben estar presentes simultáneamente.
4. El resultado de la comprobación de la implantación y el correcto funcionamiento de esas medidas, generalmente en términos de SI, NO, NO APLICABLE, PENDIENTE DE REVISIÓN, etc.
5. Las observaciones o recomendaciones que al analista le parezcan pertinentes o que desee hacer constar el responsable de la unidad sometida a verificación.

La figura 3.1 muestra el formato de lista de comprobación que se propone en esta Guía. El encabezado identifica el establecimiento o la instalación objeto de análisis y, dentro de ella, el grupo o área concreta a la que aplican las cuestiones. Para que la lista conserve su utilidad sustantiva, se mantienen todas las columnas que se han descrito más arriba. La única columna añadida –*Elemento del modelo*– permitirá reflejar el resultado de la reflexión sobre qué papel podría desempeñar ese riesgo en una hipotética secuencia accidental, tal como se ha indicado en el capítulo anterior.

IDENTIFICACIÓN DE LA INSTALACIÓN						Fecha:	
IDENTIFICACIÓN DEL GRUPO O ÁREA					Analista:	Página: de	
Nº	Aspecto a comprobar	Resultado			Riesgo a reducir	Elemento del modelo	Observaciones
		Si	No	N.A.			
	♦ Medida A ♦ Medidas: <ul style="list-style-type: none"> • Medida B • Medida C 						
	♦ Medida D ♦						
♦ Indica la elección entre diferentes medidas. • Indica que estas medidas deben estar presentes simultáneamente.							

FIGURA 3.1. Formato de la lista de comprobación que se propone en esta Guía.

3.3. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

Una vez que se ha definido el ámbito del análisis (un establecimiento completo, una planta de proceso, un área delimitada, etc.), el procedimiento de análisis que se propone en esta Guía consta de las cuatro etapas principales:

1. Selección o elaboración de una lista de comprobación adecuada.
2. Desarrollo de las actividades de comprobación.
3. Documentación de los resultados.
4. Identificación de los peligros y de las funciones de seguridad.

3.3.1. Selección o elaboración de la lista.

Básicamente hay tres tipos de listas de comprobación disponibles: las generales, que pueden encontrarse en textos relacionados con la prevención de accidentes industriales (CCPS, 1992; Crowl, 1990; DGPC, 1994b; Lees, 2001; Santamaría, 1994; UOF, 2001b), las dedicadas a unos equipos o servicios determinados –riesgo de incendio (Piqué, 1993), protección contra incendios (UOF, 2001a), protección catódica de tanques enterrados (WDE, 2003)– y las específicas para instalaciones que manejan un producto o una familia de ellos de propiedades peligrosas similares.

Para algunos productos peligrosos, el extenso conocimiento sobre sus propiedades y la amplia experiencia obtenida del análisis de los incidentes que han protagonizado, han permitido desarrollar listas de comprobación de las medidas capaces de neutralizar la génesis o la evolución de tales incidentes. En no pocas ocasiones, estas listas también se han beneficiado del conocimiento obtenido llevando a cabo análisis de riesgos por otros métodos. Una relación no exhaustiva de estas listas se recoge en la tabla 3.4.

TABLA 3.4. Listas de comprobación específicas.

Producto o tipo de instalación	Referencias
Ácido sulfúrico y óleum	ATCR, 2004
Almacenes	DRC, 1997a
Almacenamiento atmosférico de líquidos inflamables	DRC, 2000
Amoniaco	DRC, 2002a
Cloro	DRC, 1996a
Fenol	DCRC, 2004
Flúor	LLNL, 2000
Fluoruro de hidrógeno	CRD, 1998; CTEF, 1993
Gases combustibles licuados	DRC, 2003a
Hidrógeno	DRC, 2003b
GLP	DRC, 1997b
Óxido de etileno	DRC, 2002b
Sustancias tóxicas	NJDEP, 1999

En numerosas ocasiones, el analista no dispondrá de una lista de comprobación específica para su categoría de instalación y deberá elaborarla a partir de la información a su alcance. La siguiente es una relación de posibles fuentes en las que encontrar requisitos y recomendaciones para incluir, de forma ordenada, en la lista:

- Reglamentación de Seguridad Industrial:
 - Aparatos a presión.
 - Aparatos que utilizan gas como combustible.
 - Aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas.
 - Material eléctrico de baja tensión.
 - Almacenamiento de productos químicos.
 - Centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación.
 - Gases combustibles.
 - Instalaciones de protección contra incendios.
 - Instalaciones petrolíferas.
 - Plantas e instalaciones frigoríficas.
 - Electrotécnicos para alta y baja tensión.
 -
- Fichas de datos de seguridad de las sustancias involucradas.
- Códigos y normas aplicables durante el diseño.
- Instrucciones de utilización, conservación y seguridad de los equipos del proceso.
- Manuales de operación de las plantas existentes en la instalación.
- Buenas prácticas de manejo y almacenaje vigentes entre las asociaciones empresariales relacionadas con los productos del establecimiento.
- Lecciones aprendidas de incidentes o accidentes sucedidos en instalaciones análogas o que puedan extrapolarse a la actual.
- Listas de comprobación de aspectos muy concretos, aplicables a un gran número de instalaciones, por ejemplo:
 - Protección contra incendios.
 - Sistemas de alivio de presión y vacío.
 - Protección ante emisiones contaminantes.
 - Ubicación y distribución del establecimiento.
 - Protección catódica de tanques enterrados.
 - Control de los equipos de protección individual.
 -

Las listas de comprobación son documentos vivos, cuya utilidad está limitada por la experiencia de sus autores; por tanto deberían elaborarse por técnicos provistos de amplia experiencia en el sistema que va a ser analizado y revisarse y actualizarse regularmente, incluyendo, por ejemplo, los fallos hallados en las inspecciones y auditorías.

3.3.2. Desarrollo de las actividades de comprobación

Si el análisis mediante listas de comprobación se realiza antes de la fase de construcción de la planta, debe realizarse en una sala en la que se disponga de toda la información sobre la instalación (criterios de diseño, planos, etc.). El equipo de análisis centra su estudio en la revisión de los esquemas del proceso y de los planos de la instalación, para descubrir anticipadamente deficiencias e incluso ir completando las propias listas de comprobación.

Por el contrario, el análisis de una instalación ya construida exige que los miembros del equipo recorran e inspeccionen visualmente las áreas de la instalación, para comparar la disponibilidad de equipos, su estado, las condiciones de operación, etc. con las condiciones especificadas en las listas de comprobación. Cada analista refleja en la lista sus propios hallazgos visuales, los datos encontrados en la documentación de los procesos, las lecturas de los registros de operación y de los instrumentos de campo, las respuestas del personal de operación y sus propias percepciones personales. Cuando los atributos de las instalaciones, las condiciones de operación del proceso o los criterios operativos del personal no se ajustan a las características especificadas en la lista de comprobación, el analista anota la deficiencia.

Una práctica recomendable aconseja al analista que, ante ciertas cuestiones, no se limite a consignar «Si» o «No» como respuesta. Este tipo de respuesta es adecuado cuando la pregunta se refiere a la presencia o ausencia de un elemento especificado en la lista (aún así cabría argumentar por qué no está presente, si ese es el caso). Sin embargo, en preguntas relativas a actuaciones u operaciones, las respuestas deberían complementarse mediante preguntas tales como: «¿Qué le garantiza la ausencia de presión?», «¿Con qué frecuencia se revisa?», «¿Cómo se asegura de su estado?», «¿Dónde se registra la comunicación?», «¿Cuándo considera suficiente el purgado?», etc.

3.3.3. Documentación de los resultados

Con este apartado concluye lo que en esta Guía se viene denominando la utilización «clásica» de las listas de comprobación, es decir la detección de las deficiencias de un sistema que son capaces de aumentar los riesgos del mismo.

El informe final del análisis de una instalación con la metodología de las listas de comprobación debería incluir:

- Una relación de las deficiencias «materiales» encontradas (sistemas que no se hallan presentes o que lo están en un estado de conservación o de funcionamiento inadecuado).
- Una relación de las prácticas de operación que presentan actuaciones irregulares e injustificadas (omisión de etapas, anulación de seguridades, etc.).

- Una relación de los aspectos que no han podido verificarse por inexistencia de registros, imposibilidad de acceso u otras circunstancias.
- La lista de peligros identificados y de recomendaciones específicas o de posibles alternativas para la mejora de la seguridad.
- Como anexo debería incluirse una copia de las listas de comprobación utilizadas.

El resultado de la aplicación de una lista de comprobación es, ante todo, una lista de «marcadores» orientados hacia temas que requerirán –o que ya están requiriendo– atención en cada etapa de la vida del proyecto. A este respecto cabe recordar que los resultados serán tan significativos como los esfuerzos dedicados a preparar las listas y a verificar la exactitud de las respuestas.

3.3.4. Identificación de los peligros y de las funciones de seguridad.

Esta etapa del análisis es específica de la metodología que se sugiere en esta Guía, puesto que pretende relacionar los aspectos de riesgo, identificados en las listas de comprobación, con los elementos del modelo de accidentes propuesto en el capítulo 2. La finalidad de esta etapa es el actuar de enlace entre la identificación de peligros (listas de comprobación) y el desarrollo de escenarios accidentales (árboles de sucesos).

Así pues el analista se encuentra con los diferentes aspectos incluidos en la columna *Riesgo a reducir*, de la lista de comprobación, y con la necesidad de etiquetar cada uno de ellos en función de su papel en un hipotético escenario accidental. Es el momento de recordar que la columna *Riesgo a reducir* se encuentra rellena tanto si se han llevado a cabo las actividades de comprobación, como si no. ¿Para qué sirve, entonces, el proceso de comprobación?. La respuesta es inmediata: el analista contempla cada aspecto de riesgo como *posibilidad*, en general remota, de que se produzca un suceso no deseado. El proceso de comprobación tiene como finalidad garantizar la presencia de los medios que hacen remota esa posibilidad. La ausencia de una o de varias de las medidas de seguridad eleva la *probabilidad* de que se materialice el accidente.

Una etapa previa que debe dejar resuelta el analista, antes de iniciar su proceso de etiquetado de los aspectos de riesgo, es la clarificación de los conceptos de *Desviación en el proceso* y de *Accidente*. La frontera entre ambos conceptos es frecuentemente difusa. Las alteraciones por encima de sus límites normales de operación de variables tales como la composición de una corriente o del contenido de un recipiente, las presiones, temperaturas o niveles de equipos de proceso, las revoluciones de un equipo rotativo, etc., son ejemplos claros de desviaciones en el proceso. El problema puede aparecer cuando se consideran las pérdidas de contención de fluidos tóxicos o inflamables. En la tabla 3.5 se propone una posible diferenciación, basada exclusivamente en un criterio temporal: la evolución de la pérdida de contención entre el momento de producirse y aquel otro en el que las acciones de control se revelan incapaces de atajarla.

TABLA 3.5. Diferenciación entre conceptos del modelo de accidentes

Desviaciones en el proceso	Accidentes
Fuga de gases en cantidad suficiente para activar las alarmas y permitir acciones de control manual o automático.	Nube tóxica fuera de control.
Derrame de un líquido inflamable.	Incendio.
Fuga de gases inflamables en cantidad suficiente para activar las alarmas y permitir acciones de control manual o automático.	Nube inflamable fuera de control. Explosión de la nube.

La conveniencia de diferenciar con claridad entre *Desviación en el proceso* y *Accidente*, no debería suponer ningún problema para el analista. Éste posee autonomía para establecer sus propias reglas. Si considera que cualquier emisión de un gas tóxico es, en sí misma, un accidente, todas las medidas que el sistema tenga previstas para evitarla caerán dentro de las categorías de *Control manual* o de *Acción automática*. Producida la emisión, cualquier actuación debe clasificarse como *Eficacia de la mitigación* o como *Gestión de la emergencia*. Un caso análogo se presenta cuando el analista considera que el derrame de un líquido inflamable es, en sí mismo, un suceso accidental. En esta Guía, tal como se indica en el capítulo 2, se ha optado por considerar *Accidente* a los sucesos que mejor encajan con la definición presente en el Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio.

El clásico concepto de «suceso iniciador» con el que suelen comenzar los árboles de sucesos se sustituye, en el modelo de accidentes que se propone en esta Guía, por los de *Acción externa* y *Condición latente*, con las definiciones y ejemplos que se indican en el capítulo 2. La mayor parte de los aspectos de riesgo de las listas de comprobación relacionados con la formación de los operadores, la existencia de prácticas de operación documentadas, el control de las materias primas, la señalización, la gestión de los cambios, etc. pueden englobarse dentro del elemento *Acción externa*. Cualquier estado de los equipos o instrumentos de la planta, capaz de disminuir su robustez o su capacidad de respuesta, y cuya detección resulte difícil porque no forme parte de los esquemas de inspección o porque escape a la simple observación visual, cae dentro del elemento *Condición latente*. La posibilidad de una elección incorrecta de los materiales de tuberías y equipos o el uso de un código de diseño inadecuado son aspectos de riesgo que caen de lleno en este elemento.

Las funciones de seguridad (sistemas de seguridad, actuaciones de los operadores, etc.) pueden imaginarse como las defensas de la planta frente a las consecuencias del suceso iniciador. Dos posibles criterios de clasificación para estas funciones serían los siguientes:

1. Por la naturaleza de la función de seguridad.
2. Por el orden previsto de actuación ante un suceso iniciador.

En el primer caso, siguiendo la clasificación del CCPS (1992), se tienen estos cuatro tipos de soluciones para la reducción de riesgos:

– *Soluciones de diseño inherentemente seguro.* Eliminan o mitigan los peligros usando materias y condiciones de proceso menos peligrosas (sustitución de disolventes inflamables, eliminación de grandes inventarios de productos peligrosos, etc.)

– *Soluciones de diseño pasivo.* Ofrecen un alto nivel de fiabilidad puesto que operan sin ningún dispositivo que sea sensible o que responda activamente a una variable de proceso (equipos diseñados para soportar deflagraciones internas, cubetos, diques que retienen derrames y los conducen a áreas remotas, etc.)

– *Soluciones de diseño activo.* Utilizan dispositivos que miden continuamente las variables del proceso y se activan para mitigar una situación peligrosa. Estas soluciones activas –conocidas como controles de ingeniería– suelen ser menos fiables que las soluciones pasivas, puesto que necesitan un mantenimiento adecuado y unos procedimientos de diseño y ajuste correctos (válvulas de seguridad, interruptores de alto nivel actuando sobre válvulas o bombas, reguladores automáticos, etc.).

– *Soluciones basadas en procedimientos operativos.* Evitan los peligros a través de la actuación de uno o varios operadores. La actuación puede ser el responder a una alarma, a la indicación de un instrumento, a una fuga visible, a un ruido anormal o al resultado de un análisis y puede concretarse en la apertura o cierre de una válvula, la realización de una labor de mantenimiento, la puesta en marcha o parada de una bomba, etc. El involucrar a una persona en la secuencia de solución de una situación de emergencia significa incorporar factores humanos y su correspondiente riesgo de errores. En general, las soluciones basadas en procedimientos operativos se consideran en el último lugar de la escala de fiabilidad ante una situación potencialmente accidental.

A los fines de la metodología que se propone en esta Guía, resulta más conveniente la clasificación de las funciones de seguridad basada en el orden en el que se tiene intención que actúen, a saber:

– *Diseño y conservación de la instalación: sistemas que responden de modo automático ante una desviación en el proceso.*

Se incluyen en este grupo los sistemas de regulación automática de variables tales como temperatura, presión, nivel, etc. Salvo que se encuentren en estado de fallo (*Condición latente*), son capaces de restaurar pequeñas alteraciones en los procesos, sin necesidad de intervención –a veces sin percepción– por parte de los operadores. Suelen ser la primera de las actuaciones ante *Acciones externas* o ante la materialización de alguna *Condición*

latente y sólo la superación de su capacidad de regulación conduce a *Desviaciones en el proceso*.

– *Control manual*.

Dentro de este elemento se incluyen:

Indicadores y alarmas. Forman parte de este elemento puesto que tienen que alertar a los operadores cuando se presenta el suceso iniciador o cuando sus consecuencias van a superar la capacidad de regulación automática del proceso. No siempre son sistemas activos; las medidas de seguridad incluidas en este campo son a veces tan sencillas como no interponer obstáculos entre el operador y los equipos a vigilar.

Actuaciones del operador. Previstas para ser llevadas a cabo en respuesta a las alarmas, tal como lo especifiquen los procedimientos operativos o en función de su propio criterio, ante situaciones extraordinarias. Las *Prácticas de operación* están orientadas tanto a evitar incorrectas *Acciones externas*, como a propiciar correctas actuaciones de *Control manual*.

– *Acción automática*.

Este grupo se reserva para todas las actuaciones de seguridad, previas al accidente, para las que no se requiere la intervención del operador y en particular: enclavamientos de seguridad, sistemas automáticos de corte, válvulas de seguridad y otros sistemas de alivio de presión, etc.

Las medidas orientadas a la eliminación de focos de ignición, tales como equipos antideflagrantes, conexiones equipotenciales, etc., se clasifican en este elemento puesto que «actúan» pasivamente eliminando factores necesarios para el accidente, sin la intervención directa de los operadores.

– *Eficacia de los medios de mitigación*.

Es un elemento que agrupa las medidas previstas para ser ejecutadas inmediatamente después de la materialización del accidente, tales como circuitos de lavado de gases tóxicos, cubetos, cortinas de agua pulverizada, sistemas de extinción y refrigeración, etc. En la secuencia de un accidente puede fallar tanto la presencia de estos medios, como sus posibilidades de acceder al lugar necesario o la formación necesaria en los operadores que deben manejarlos.

– *Gestión de la emergencia.*

Como su propio nombre indica, se refiere más a medidas organizativas que a los propios medios materiales. Están incluidos en este elemento la propia planificación interior de las emergencias, la agilidad de los sistemas de comunicación con el entorno, la existencia de una planificación exterior de emergencias, etc.

La tabla A.1 del Anexo ofrece un amplio número de ejemplos de cómo convertir los *Aspectos a verificar* en *Riesgos a evitar o reducir* y estos en *Elementos del modelo*.

3.4. NECESIDADES DE RECURSOS

El método de la lista de comprobación es sumamente versátil. En función del objetivo que se persiga, el tipo de evaluación puede variar desde las más simples y rápidas a las más profundas y costosas. Cualquiera que sea el caso, el método mantiene su eficiencia como sistema de identificación de peligros.

Como se ha comentado previamente, para llevar a cabo esta técnica de forma adecuada, se requiere una lista de comprobación con preferencia adaptada al proceso y a la instalación objeto de análisis; esta adaptación evitará el encontrar numerosos aspectos no aplicables y –lo que sería mucho peor– el omitir peligros realmente presentes. Si no existe una lista adecuada, ésta debe ser preparada por uno o varios técnicos; en este último caso resulta esencial su revisión por un técnico con experiencia en la instalación. El manual del proceso, la colección de prácticas operativas y un manual de técnicas de diseño en ingeniería química, completarán la documentación necesaria.

Un técnico con conocimientos detallados del proceso, los equipos y los procedimientos de trabajo de la instalación sometida a análisis, es capaz de aplicarle una lista de comprobación; en todo caso es preferible que se involucren varios técnicos en la preparación de la lista y en su aplicación a un proceso dado. Los resultados finales ganan en fiabilidad si se revisan por un analista independiente, el cual puede dirigir las acciones que resulten como consecuencia del análisis.

La duración aproximada del análisis se recoge en la tabla 3.6 (DOE, 1996).

TABLA 3.6. Duración del proceso de aplicación de una lista de comprobación

	Preparación	Comprobación	Documentación
Sistema simple	2 – 4 horas	4 – 8 horas	4 – 8 horas
Sistema complejo	1 – 3 días	3 – 5 días	2 – 4 días

3.5. INSPECCIONES Y AUDITORÍAS DE SEGURIDAD

Aunque con una finalidad, metodología, ámbito y alcance diferentes, los conceptos de inspección y auditoría conviven en los textos técnicos y legales relativos a la prevención de accidentes en establecimientos industriales. En los párrafos que siguen se clarifica la diferencia entre estos conceptos, que en ningún caso deben considerarse completamente ajenos e independientes los unos de los otros, sino más bien complementarios y, a menudo, parcialmente solapados.

3.5.1. Inspecciones de seguridad

Las inspecciones por parte de la administración han venido siendo una de las herramientas clave mediante las que las autoridades industriales se han asegurado del cumplimiento de los reglamentos de seguridad. La Directiva 96/82/CE, del Consejo, de 9 de diciembre, impuso mayores exigencias a las inspecciones que debían realizar los Estados Miembros en las instalaciones que entraban en el campo de aplicación de esa Directiva.

Los objetivos, sistemática y contenidos de esas inspecciones se detallan en los artículos 19 y 5 de los Reales Decretos 1254/1999 y 1196/2003, respectivamente. En el contexto de los textos legales citados, estas inspecciones *comprenderán un examen sistemático y planificado de los sistemas implantados en el establecimiento, tanto de naturaleza técnica como de organización y de gestión de la seguridad, de forma que el industrial pueda demostrar:*

- a) Que ha tomado las medidas adecuadas para prevenir accidentes graves, de acuerdo con las actividades realizadas en el establecimiento.*
- b) Que ha adoptado las medidas necesarias para limitar las consecuencias de los accidentes graves dentro y fuera del establecimiento.*
- c) Que los datos y la información facilitados en el informe de seguridad o en cualquier otro informe o notificación presentados, reflejan fielmente el estado de seguridad del establecimiento.*
- d) Que ha establecido programas e informado al personal del establecimiento sobre medidas de prevención, protección y actuación en caso de accidente.*

El sistema de inspecciones y medidas de control adecuadas a los establecimientos afectados por el Real Decreto 1254/1999 debe ser llevado a cabo por los órganos competentes de las Comunidades Autónomas, sin perjuicio de que, para la realización de las inspecciones, el citado órgano pueda requerir la colaboración de organismos de control acreditados por la Administración competente.

Algunas autoridades competentes en la aplicación de la Directiva 96/82/CE han preparado documentos guía destinados al examen sistemático de la capacidad de gestión y organización de las empresas en cuanto al plan de control de los riesgos de accidentes graves de tipo químico (CRD, 2002; DGPC, 2003; Papadakis, 1999). Estas guías son, en primer lugar, una herramienta de inspección para los equipos que tienen a su cargo la vigilancia del respeto a la legislación preventiva de accidentes graves, pero también se ponen a disposición de las empresas para permitirles que preparen mejor sus sistemas de gestión de la prevención. En el desarrollo de alguna de estas guías (CRD, 2002) se recurre a las listas de comprobación para aspectos tales como:

- los análisis ergonómicos sistemáticos de nuevas instalaciones.
- los análisis ergonómicos sistemáticos de las interfases hombre-máquina en sistemas de control.
- los análisis sistemáticos de la facilidad de mantenimiento e inspección de una instalación en proyecto.
- el control de que los equipos se han instalado de acuerdo con las especificaciones de detalle.

3.5.2. Auditorías de los sistemas de gestión de la seguridad

En los últimos veinte años, se ha producido un aumento muy significativo en el número de organizaciones que han implantado sistemas de gestión certificables, en los ámbitos de la calidad o del comportamiento medioambiental; en el caso más frecuente, los requisitos de estos sistemas se especifican en las normas internacionales ISO de las series 9000 y 14000. Un requisito común a todos ellos, es la necesidad de que un organismo de certificación independiente lleve a cabo regularmente auditorías detalladas para confirmar que los requisitos del sistema de gestión están correctamente implantados.

En el ámbito de estos sistemas técnicos de gestión, la auditoría es el proceso de verificación sistemático, independiente y documentado para obtener y evaluar objetivamente evidencias para determinar si el sistema de gestión de una organización se ajusta al conjunto de políticas, procedimientos o requisitos marcados por esa organización, y para la comunicación de los resultados de este proceso a la dirección (UNE-EN ISO 9000:2000).

Con relación a la seguridad de los procesos químicos, en el pasado existía una tendencia a que las leyes y reglamentos especificaran enfoques casi exclusivamente técnicos; actualmente hay un énfasis creciente en complementar esos enfoques con la implantación de sistemas de gestión de la seguridad, máxime tras el hecho evidente de que la causa básica o raíz de la mayoría de los accidentes graves en procesos químicos puede relacionarse con algún fallo del sistema de gestión.

La auditoría como elemento del sistema de gestión de la seguridad en los establecimientos afectados por el Real Decreto 1254/1999, se menciona en su artículo 7 y en el punto 2.vii de su Anexo III; una descripción algo más detallada se encuentra en el artículo 3.2.7 del Real Decreto 1196/2003, en donde se cita como objetivo *asegurarse que la organización, los procesos y procedimientos establecidos son consistentes con el sistema de gestión de seguridad.*

Por tanto, a diferencia de las inspecciones de seguridad, las auditorías se centran en el aseguramiento de la correcta y completa implantación de los objetivos de la política de prevención de accidentes graves y del sistema de gestión de la seguridad. Se llevan a cabo por técnicos con experiencia de la propia compañía o con el auxilio de medios externos, pero siempre siguiendo un plan definido previamente. Sus resultados son uno de los elementos de entrada para la *Revisión* que también se exige en el punto 2.vii del Anexo III del Real Decreto 1254/1999.

El análisis mediante árboles de sucesos

En numerosos escenarios accidentales, el suceso con el que se inicia el proceso puede tener un amplio espectro de resultados posibles, oscilando entre la ausencia de consecuencias y la catástrofe. En la mayor parte de los sistemas técnicos bien diseñados, existen varios elementos de seguridad implantados con la finalidad de anular o mitigar los efectos de los sucesos accidentales potenciales. Estos efectos vienen determinados por cómo se ve afectada la progresión del accidente por los subsiguientes fallos o actuaciones correctas de esos elementos de seguridad, por los errores o los aciertos humanos en la respuesta al hecho accidental y por otros factores circunstanciales.

La probabilidad global del suceso no deseado se basa habitualmente en las de un cierto número de hechos individuales encadenados. Estos hechos se agrupan en dos categorías generales: los que inician la cadena y los que la orientan en alguna de las múltiples direcciones posibles. Ambas categorías comparten una cualidad: estimar sus frecuencias o sus probabilidades individuales es mucho más sencillo que hacerlo respecto al suceso global.

Los modelos de propagación de fallos se emplean para estimar la probabilidad global de un suceso no deseado, en base a las probabilidades individuales de los factores cuya presencia es necesaria para que aquel se produzca. Este tipo de modelado es imprescindible cuando no existen datos suficientes para hacer una inferencia estadística válida de la probabilidad del suceso no deseado. Utilizando las tasas de fallo asociadas a cada uno de esos factores y las técnicas de modelado que permiten analizar la cadena de sucesos que conducen a un accidente, se está en condiciones de obtener una estimación de la frecuencia del suceso no deseado, mucho más precisa que si se emplearan técnicas más subjetivas.

El campo de la ingeniería de la fiabilidad ha facilitado varios modelos de propagación de fallos, entre los que se encuentran *el análisis mediante árboles de sucesos, el análisis mediante árboles de fallos, los esquemas de bloques de fiabilidad y el modelado de Markov*. De entre los citados, el análisis mediante árboles de sucesos es el más adecuado para documentar y modelar secuencias de sucesos, como las que suelen presentarse en un proceso accidental. De hecho, la técnica se presta especialmente bien a la representación de las secuencias accidentales que se ajusten al modelo propuesto en el capítulo 2 de

esta Guía, por lo que el resto del presente capítulo está dedicado a la descripción de esta metodología.

4.1. INTRODUCCIÓN A LA TÉCNICA

Un árbol de sucesos es un modelo lógico gráfico que identifica y es capaz de cuantificar los resultados posibles que siguen a un suceso iniciador. Surge de un proceso de razonamiento inductivo, en el que se parte de un suceso iniciador y se desarrollan las posibles secuencias de sucesos que conducen a los potenciales accidentes, teniendo en cuenta tanto los éxitos como los fallos de todas las funciones de seguridad asociadas.

El árbol facilita, por tanto, una cobertura sistemática de la secuencia temporal de la propagación de sucesos, bien a través de una serie de actuaciones de los sistemas de protección, de las funciones normales de la planta y de las intervenciones de los operadores o bien, si ya ha ocurrido un accidente, a través de la serie de posibles efectos.

4.1.1. Características esenciales

- Modela el rango de posibles accidentes que resultan de un suceso iniciador o de una categoría de los mismos.
- La estructura del árbol de sucesos es muy semejante a la que se utiliza en los análisis de los árboles de decisión (Clemens 2002), que se utilizan ampliamente para análisis económicos y empresariales. Cada suceso de los que siguen al iniciador depende del suceso precursor. Los resultados de un suceso son, en la mayoría de los casos, binarios (sí o no; éxito o fallo), pero también podrían ser múltiples (éxito, fallo parcial o fallo total).
- Cada rama de árbol representa una secuencia accidental diferenciada, que es una serie claramente definida de relaciones funcionales entre las funciones de seguridad para un suceso iniciador.
- La cuantificación de un árbol de sucesos permite predecir la frecuencia de cada uno de los posibles resultados. Éstas se definen como el producto de la frecuencia del suceso iniciador y de todas las probabilidades condicionales de los sucesos subsiguientes que conducen a ese resultado.
- Es una técnica para la evaluación de riesgos que tiene en cuenta de modo efectivo la evolución temporal, la dependencia y los posibles efectos dominó entre los diferentes contribuyentes a un accidente, que resultarían engorrosos de modelar con árboles de fallos
- Los resultados del análisis permiten identificar debilidades en los procedimientos y en el diseño; también proporcionan recomendaciones para reducir la probabilidad y/o los efectos de los accidentes potenciales analizados.

4.1.2. Terminología

En la aplicación de esta metodología se emplean habitualmente los siguientes términos:

- Suceso iniciador. La aparición de algún fallo con el potencial de producir unas consecuencias indeseables. En el contexto de esta Guía, y con relación al modelo de accidentes que se propone en el capítulo 2, los sucesos iniciadores deben ser buscados entre las *acciones externas*, las *condiciones latentes* o sus posibles combinaciones.
- Función de seguridad. Un sistema de protección (sistemas de regulación automática, alarmas, enclavamientos, dispositivos de alivio de presión, barreras, etc.) o una actuación humana que puede responder ante el suceso iniciador o ante su evolución. En el modelo de accidente que se propone en esta Guía, las funciones de seguridad pueden manifestarse como sistemas de regulación automática que actúan tratando de evitar que se produzca una *desviación en el proceso* o –si ésta se ha producido– como actuaciones de *control manual* o de *acción automática*.
- Punto de ramificación. Representación gráfica de dos – o más – resultados potenciales cuando una función de seguridad se pone a prueba; otros aspectos que requieren punto de ramificación son aquellos estados o circunstancias capaces de modificar el resultado final del accidente (presencia de puntos de ignición, condiciones meteorológicas, etc.)
- Secuencia accidental o escenario. Un camino específico a través de árbol de sucesos, que va desde el suceso iniciador hasta alguno de los resultados finales.

4.1.3. Recursos necesarios

El desarrollo de un análisis mediante árboles de sucesos requiere la identificación de los potenciales sucesos iniciadores (fallos de equipos o perturbaciones de los sistemas que puedan provocar un accidente) y el conocimiento de cómo deben actuar las funciones de seguridad o los procedimientos de emergencia, para tratar de mitigar los efectos de cada uno de aquellos sucesos.

El trabajo podría llevarse a cabo por un único analista, con la condición de que tuviera un conocimiento detallado del sistema, pero resulta preferible un equipo de entre dos y cuatro personas. El enfoque de equipo promueve la aportación de ideas, lo que acaba produciendo unos árboles de sucesos más completos. El equipo debería incluir a alguien con conocimientos de la metodología, mientras que los restantes miembros deberían tener conocimientos sólidos del proceso y experiencia en la forma de respuesta de los sistemas incluidos en el análisis.

La duración y el coste del análisis dependen del número y de la complejidad de los sucesos iniciadores y de las funciones de seguridad incluidas en el estudio. Las entrevistas,

las inspecciones de campo y la evaluación de varios sucesos iniciadores ocupará al equipo unos pocos días para sistemas simples; los procesos complejos pueden necesitar varias semanas. La tabla 4.1 (CCPS, 1992) contiene estimaciones del tiempo necesario para llevar a cabo una evaluación de peligros mediante el empleo de árboles de sucesos

TABLA 4.1. Estimación del tiempo necesario para un análisis con árboles de sucesos

Ámbito del análisis	Preparación	Construcción del modelo	Evaluación cualitativa	Documentación de resultados
Sistema simple	1-2 días	1-3 días	1-2 días	3-5 días
Proceso complejo	4-6 días	1-2 semanas	1-2 semanas	3-5 semanas

4.2. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

La figura 4.1 esquematiza el proceso de construcción y análisis de un árbol de sucesos. Como puede verse, se han incluido en el proceso las etapas 6ª y 7ª, que son necesarias sólo si se necesita una evaluación cuantitativa del riesgo. El motivo de la inclusión no es otro que el de mostrar la técnica en toda su potencia y complejidad, evitando que el capítulo muestre una versión excesivamente simplificada de la misma. Debe, no obstante, recordarse que la aplicación del análisis del árbol de sucesos que se propone en esta Guía se limita a su versión cualitativa. Para esta última aplicación, deben eliminarse las etapas citadas, pasando directamente desde la 5ª hasta la 8ª.

4.2.1. Definición del sistema o de la actividad objeto de análisis.

Se trata de especificar y definir con claridad los límites de la instalación, o de la operación, en la que se va a llevar a cabo el análisis mediante árboles de sucesos, con especial atención a aspectos como (USCG 2003b):

- Límites físicos. En las plantas de proceso químico, no es frecuente que los sistemas operen aisladamente, sino conectados o interactuando con otros. Esta interdependencia es aun más acusada en el caso de los servicios comunes, tales como vapor, energía eléctrica o aire comprimido. Estableciendo nítidamente los límites del sistema, el analista puede evitar el pasar por alto elementos esenciales situados en las interfases o, por el contrario, complicar de forma innecesaria el análisis incluyendo equipos o actuaciones ajenas al sistema.
- Límites analíticos. En esencia, un análisis mediante árboles de sucesos puede incluir todos los fallos y condiciones que pueden actuar como sucesos iniciadores, y todas las funciones de seguridad y circunstancias que pueden anular los efectos de esos sucesos. Sin embargo, resulta más práctico establecer algunos límites

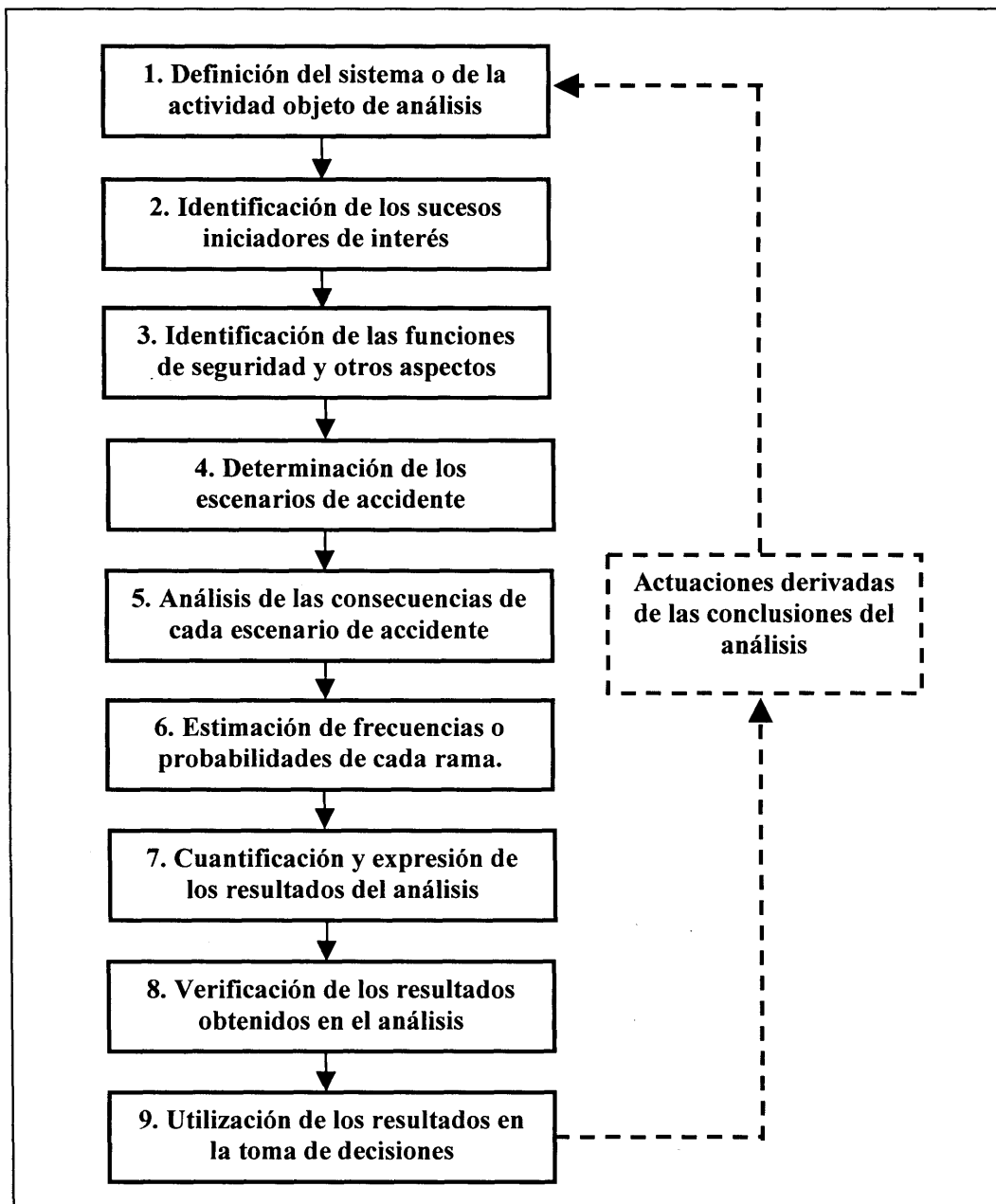


FIGURA 4.1. Esquema del proceso de análisis del árbol de fallos.

analíticos, tales como el nivel de resolución (por ejemplo, no desmenuzar los posibles problemas que conducen al fallo de un lazo de control) o el tipo de sucesos que se excluirán del análisis (por ejemplo, los actos intencionados).

- Condiciones iniciales. El estado inicial del sistema, incluyendo aquellos equipos que se sabe que se hallan fuera de servicio, influye sobre las combinaciones de sucesos necesarios para engendrar un problema. Por ejemplo, si se sabe que un enclavamiento de seguridad se mantiene de ordinario fuera de servicio, el riesgo de ciertos tipos de problemas será superior y afectará la forma en la que se dibuje y evalúe el árbol.

- Misión de las funciones de seguridad. El análisis mediante árboles de sucesos se centra en los caminos por los cuales pueden progresar los sucesos iniciadores, a través de los posibles fallos de las medidas de seguridad. Una definición clara de la misión que se espera que cumpla cada una de esas medidas es, por tanto, una primera etapa importante para identificar su efectividad como función de seguridad.

4.2.2. Identificación de los sucesos iniciadores de interés

La selección de un suceso iniciador relevante es muy importante para la calidad del análisis. El suceso iniciador puede ser una acción externa, el fallo de un sistema o algún error humano y es probable que se haya detectado mediante otras técnicas de identificación de peligros, tales como las listas de comprobación u otros (Papazoglou 2003). Para que el análisis posterior resulte interesante, el suceso iniciador debe ser capaz de dar lugar a varias secuencias diferentes de sucesos.

Ante una instalación determinada, diferentes analistas pueden proponer sucesos iniciadores ligeramente distintos. Por ejemplo, en el análisis de seguridad de un equipo que necesita refrigeración un analista podría elegir como suceso iniciador relevante «Ausencia de flujo de agua de refrigeración», frente a otro que propusiera, por ejemplo, «Rotura de la tubería de agua de refrigeración». Ambos planteamientos son, en principio, correctos, si bien el primero de ellos es más general que el segundo; esta circunstancia deberá reflejarse, en análisis cuantitativos, en un mayor valor de la frecuencia del primero de los sucesos frente al segundo (la ausencia de flujo puede deberse a la rotura de la tubería pero también a obstrucciones, fallo de la bomba, válvulas erróneamente cerradas, etc.)

Algunos ejemplos de posibles sucesos iniciadores son los siguientes:

- Fallo de equipos o de sistemas
 - Sensores, controladores, válvulas de control
 - Electroválvulas, bombas, tuberías, recipientes
 - Sistemas de suministro de energía, vapor, agua, aire,
- Errores humanos
 - Activar/desactivar el equipo inadecuado
 - Retrasos en las actuaciones
 - Uso de productos químicos erróneos
 - Modificaciones peligrosas en las condiciones del proceso
- Condiciones de proceso fuera de los límites
 - «Huidas» de la presión, la temperatura, el nivel, la composición,...
- Explosiones de recipientes o de tuberías
- Ignición de combustibles almacenados

Un enfoque sistemático para la ejecución de esta etapa incluye las fases:

- Identificación de los peligros. Tal como se sugiere en esta Guía, el uso de las listas de comprobación permite identificar una serie de aspectos de riesgo (acciones externas a la planta, actuaciones erróneas de los operadores, aparición de fallos en los sistemas como consecuencia de condiciones latentes, etc.). Esta fase ayuda a identificar los peligros y los sucesos mediante los que se pueden materializar. Las listas de comprobación consideran globalmente todas las operaciones dentro del marco en estudio y ayudan a identificar el conjunto de sucesos iniciadores potenciales y sus consecuencias inmediatas, produciendo una lista, en general extensa, de dichos sucesos.
- Selección de los peligros. A partir de la lista de posibles sucesos iniciadores, el analista debe aplicar algunos criterios para seleccionar los sucesos de más interés, los cuales serán posteriormente analizados mediante árboles de sucesos. Un criterio de selección suele ser el que el suceso iniciador no tenga un resultado único y evidente, sino que su complejidad aconseje un análisis que aclare las diferentes interacciones, –entre los sistemas o entre ellos y los operadores–, que pueden dar lugar a distintos resultados finales.
- Agrupamiento en categorías. Si el número de sucesos que requieren análisis es elevado, puede facilitarse el estudio de los resultados si aquellos se agrupan en categorías tales como: sucesos que pueden dar lugar a emisiones, a incendios, etc.

4.2.3. Identificación de las funciones de seguridad y otros aspectos

Frecuentemente, una gran parte de los sucesos iniciadores se identifican como posibles generadores de accidentes, en las primeras etapas del diseño, dando lugar a que se prevean funciones de seguridad para neutralizarlos adecuadamente (Rausand 2003). Una función de seguridad es un dispositivo, acción o barrera que puede interrumpir la secuencia desde el suceso iniciador hasta el resultado peligroso. En el concepto *acción*, se incluyen todas las actuaciones que pueden ser ejecutadas por uno o varios operadores en respuesta a una situación peligrosa.

Otros aspectos que deben ser identificados son aquellos estados o circunstancias capaces de modificar el resultado final de un accidente. Se trata condiciones que se hallan presentes en el momento de aparición del suceso iniciador y sobre los que, en general, no se tiene control; el momento del día y los factores meteorológicos son los ejemplos más típicos de estos aspectos.

Las funciones de seguridad pueden ser de muchos tipos, pero suelen caracterizarse como capaces de actuar con éxito o fallar ante una demanda. Algunos ejemplos son:

- Sistemas de ingeniería tales como alarmas, enclavamientos, válvulas automáticas, sistemas de parada de emergencia, etc. que responden ante el suceso iniciador de modo automático.

- Barreras o contenciones para limitar el efecto de un accidente (cubetos, pendientes de superficies, balsas de recogida, etc.).
- Sistemas basados en el personal, tales como la detección de problemas a través de la observación, el sonido o los olores, los equipos de respuesta ante emergencias, etc.

Algunos ejemplos de aspectos capaces de modificar el resultado de un accidente, son (Bestratén 1993):

- La ignición de la fuga o la ausencia de este fenómeno.
- La explosión de una nube inflamable o su incendio tipo flash.
- La contención o no, del escape líquido o gaseoso.
- El derrame del líquido contenido en un dique o su retención definitiva.
- El periodo diurno o nocturno.
- La dirección del viento hacia una zona poblada o no.
- Las condiciones de estabilidad de la atmósfera.

Los encabezamientos o nodos de la figura 4.2 son el resultado final de la etapa que se acaba de describir. El analista debe ser cuidadoso para identificar todos aquellos elementos que pudieran afectar materialmente el resultado del suceso iniciador. Además, es esencial que entienda la cronología de actuación de las funciones de seguridad y los momentos precisos en los que los demás aspectos (horarios, meteorológicos, etc.) son importantes. Así, circunstancias tales como la presencia o ausencia de fuentes de ignición pueden aparecer más de una vez en el árbol de sucesos, dependiendo de lo que esté ocurriendo en el tiempo.

4.2.4. Determinación de los escenarios de accidente

Al llegar a esta etapa del proceso, se dispone de información suficiente para empezar el desarrollo de los árboles de sucesos. Como puede apreciarse de lo expuesto hasta este momento, una de las ventajas de esta técnica de análisis es la posibilidad de modelar la evolución temporal y la interacción de los diferentes sistemas que responden ante el suceso iniciador. Para tener en cuenta de modo adecuado estas interacciones el analista debe:

- **Determinar la progresión del accidente.** Afortunadamente, no todos los fallos dan lugar a consecuencias negativas sobre las personas, el medio ambiente o los bienes materiales. De la misma manera, no todas las funciones de seguridad están llamadas a intervenir ante cada suceso que ocurra. Existe una evolución lógica que arranca del suceso iniciador y que, a medida que se hace más severa, requiere que diferentes sistemas entren en acción. El entender la progresión y la evolución temporal del sistema y de sus respuestas es esencial para desarrollar la lógica correcta del árbol de sucesos.

- **Identificar las dependencias entre los sistemas.** Una buena parte de los sistemas operan en conexión con otros equipos o procesos. Estas dependencias pueden degradar los niveles de protección ofrecidos por sistemas redundantes que comparten servicios comunes. Los sucesos accidentales que se originan con ocasión de interrupciones bruscas del suministro eléctrico, son un ejemplo típico de los problemas asociados a estas dependencias.

- **Entender el carácter condicional de algunas de las respuestas.** Aún en su opción cualitativa, los árboles de sucesos responden a probabilidades condicionales. En otras palabras, no es raro que la probabilidad de éxito o de fallo de una función de seguridad venga condicionada por el éxito o el fallo de las funciones que la preceden.

- **Construir la lógica del árbol de sucesos.** Puede sistematizarse a través de las siguientes fases:
 1. Situar en primer lugar el suceso iniciador en el lado izquierdo del árbol, dado que convencionalmente éste se construye de izquierda a derecha.
 2. Colocar las funciones de seguridad y el resto de los aspectos a lo largo del borde superior del marco reservado para el dibujo, en el orden cronológico en el que afectarán a la progresión del accidente. En cada uno de estos encabezamientos o nodos se analizan dos o más alternativas hasta que se obtenga un resultado final para cada nodo. Solamente deberían mostrarse en un árbol de sucesos aquellos nodos que afectan materialmente a los resultados.
 3. Identificar, en cada posible punto de ramificación (bajo cada nodo), los conceptos de éxito y de fallo asociados a ese nodo en particular. La rama *éxito* o *sí* se coloca habitualmente hacia arriba y la rama *fallo* o *no* hacia abajo. Con más generalidad podría decirse que, en cada nodo, el árbol se divide en dos ramas: la rama superior significa que la descripción del suceso que se encuentra en la parte superior del nodo es *cierta*, mientras que la rama inferior significa que es *falsa*. Empezando por el suceso iniciador, muchos analistas identifican cada encabezamiento con una letra. Si se hace de esta manera, cada secuencia final de sucesos puede especificarse con una combinación de letras única. Una letra tachada (figura 4.2) indica que el suceso designado no tuvo éxito. Debe considerarse, además, lo que sigue:
 - Algunos puntos de ramificación (dirección del viento, estabilidad atmosférica, etc.) pueden tener más de dos salidas, por lo que se representarán con el número adecuado de ramas.
 - Algunos puntos de ramificación tendrán sólo una salida; en otras palabras, habrá una línea recta a través de esa función de seguridad, lo que significa que esa función no afecta al resultado, como consecuencia del fallo o éxito precedente de alguna otra función.
 - Para una secuencia de n sucesos, el árbol tendrá 2^n ramas en el caso más simple (decisiones binarias). No obstante, ese número se ve reducido normalmente debido a que numerosas ramas no son posibles.

Suceso iniciador A	Función de seguridad B	Condición física C	Función de seguridad D	Condición física E	Función de seguridad F	Resultado
-----------------------	---------------------------	-----------------------	---------------------------	-----------------------	---------------------------	-----------

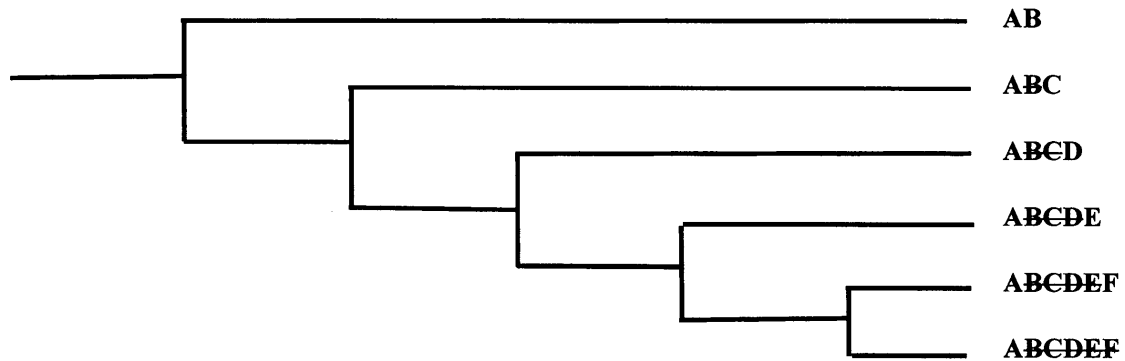


FIGURA 4.2. Ejemplo de un árbol de sucesos simple.

4.2.5. Análisis de las consecuencias de cada escenario de accidente

La última etapa en la parte cualitativa del análisis es describir las diferentes secuencias de sucesos que pueden presentarse como consecuencia del suceso iniciador. Una o más de las secuencias pueden representar una recuperación segura de las condiciones normales de operación o una parada ordenada. Las secuencias importantes desde el punto de vista de la seguridad, son aquellas que terminan en accidentes.

El analista debe esforzarse en describir las consecuencias resultantes de una manera clara y carente de ambigüedad. Cuando se hayan descrito todas las consecuencias, el analista puede clasificarlas de acuerdo con su severidad. La estructura del diagrama, que muestra claramente la progresión del accidente, ayuda al analista a especificar dónde serán más eficaces los sistemas de seguridad o los procedimientos operativos adicionales, a fin de proteger frente a esos accidentes.

El objetivo de la construcción del árbol es la identificación de los posibles resultados importantes que tengan relación con el análisis cuantitativo de riesgos de la planta de proceso químico. Así, si el objetivo del análisis es la estimación del riesgo de aparición de víctimas en el exterior del establecimiento, sólo tendrán que desarrollarse los resultados relevantes para ese objetivo. Las ramas del árbol que conduzcan a consecuencias más leves pueden dejarse sin desarrollar. En aquellas ramas en las que los resultados son de significación, es una práctica frecuente detener la construcción en el incidente en sí mismo (por ejemplo: explosión, nube de vapor tóxico a la deriva). El cálculo del análisis de riesgos consecuente considerará los factores individuales de influencia (por ejemplo: dirección del viento, estabilidad atmosférica) sobre las posibles consecuencias.

Muchos de los resultados obtenidos al desarrollar diferentes ramas del árbol de sucesos serán similares (por ejemplo, una explosión puede tener lugar a partir de más de una secuencia de sucesos). Los resultados del árbol de sucesos final pueden clasificarse de acuerdo al tipo de modelo de consecuencias que debe emplearse para completar el análisis.

2.6. Estimación de frecuencias o probabilidades de cada rama

En general, si el árbol se ha construido de acuerdo con las etapas precedentes, los resultados aparecerán ordenados (de arriba abajo) desde los de alta frecuencia y consecuencias leves hasta los de baja frecuencia y consecuencias severas. De una forma *cuantitativa* la frecuencia de un resultado dado puede determinarse simplemente observando el número de funciones de seguridad que han tenido que fallar para que ese resultado se produzca. Por ejemplo, el fallo catastrófico de un equipo sólo se produciría si el operador no reconociera a tiempo la aparición de un problema en el proceso y si varios sistemas de seguridad independientes también fallaran a la hora de detectar y proteger al equipo. Por el contrario, cuando sólo existe una función de seguridad para proteger de las consecuencias de un suceso determinado, no es aventurado suponer que, de producirse éste, es probable que se llegue a esas consecuencias.

La evaluación *cuantitativa* de las frecuencias accidentales exige previamente el determinar las probabilidades de todos los encabezamientos. El resto de este apartado está orientado en esa dirección y, como se ha dicho, debe omitirse si sólo se desea la opción *cuantitativa* del análisis mediante árboles de sucesos.

Las apariciones del suceso iniciador se representan habitualmente por una distribución de Poisson con frecuencia λ , que se mide como el número esperado de apariciones por año (o por alguna otra unidad de tiempo).

Cada encabezamiento en el árbol de sucesos (excepto el suceso iniciador) corresponde a una probabilidad *condicional* de algún resultado, si el suceso precedente ha tenido lugar. Así, las probabilidades asociadas con cada rama deben sumar 1 para cada encabezamiento. Esto es cierto tanto en el caso de resultados binarios como si caben múltiples salidas de un nodo.

Para cada función de seguridad, ha de estimarse la *probabilidad condicional de que vaya a funcionar adecuadamente en el contexto relevante*, es decir cuando han tenido lugar los sucesos previos en la cadena. Algunas funciones de seguridad, tales como los sistemas de parada automática, son muy complejos y necesitan un análisis de fiabilidad muy detallado.

La fiabilidad (*condicional*) de una función de seguridad dependerá de un gran número de factores ambientales y operacionales, como por ejemplo de las cargas que ha

recibido como consecuencia de los sucesos previos de la cadena, del tiempo transcurrido desde la última vez que se probó, etc. En muchos casos resultará difícil distinguir entre «funcionando» y «no funcionando»; una bomba puede empezar a funcionar pero no dar el caudal requerido o pararse antes de tiempo.

La evaluación de la fiabilidad de una función de seguridad requerirá en muchas ocasiones un análisis del árbol de fallos o un estudio basado en los diagramas de bloques de fiabilidad. En algunas aplicaciones informáticas, se establece un enlace entre la evaluación de fiabilidad y el nodo correspondiente del árbol de sucesos para facilitar la actualización automática de las frecuencias de resultados y de los análisis de sensibilidad. Por ejemplo, puede tener interés estudiar el efecto de cambiar el intervalo de tiempo entre revisiones de una válvula de seguridad, sobre la frecuencia de los sucesos accidentales.

También deben estimarse las probabilidades de los diferentes aspectos capaces de modificar el resultado de un accidente. Algunos de ellos serán independientes de los sucesos previos en la cadena del árbol, pero otros no lo serán.

Es importante señalar una vez más que la mayor parte de las probabilidades en el árbol de sucesos serán probabilidades **condicionales**. Por ejemplo la probabilidad de que funcione un detector de incendios después de una explosión no será la misma que la que se obtiene cuando se le prueba en condiciones normales.

Las fuentes de datos de probabilidad condicional pueden ser los registros históricos, los datos de planta y del proceso, datos de tipo químico, datos de tipo medioambiental datos de fiabilidad de los equipos, datos de fiabilidad de los operadores y el uso de la opinión de expertos.

En la actualidad, se dispone de numerosas bases de datos de fiabilidad de componentes mecánicos y electrónicos, así como de estimaciones de la probabilidad de fallo de los operadores, en función de las circunstancias que concurren en el instante en el que tienen que ejecutar una determinada tarea (Less, 2001).

4.2.7. Cuantificación y expresión de los resultados del análisis.

Las frecuencias de los resultados se calculan usando un método que se basa en el teorema que establece que la probabilidad de un suceso producto de otros dos (A y B) es igual a la probabilidad de uno de los sucesos por la probabilidad del otro condicionada al primero.

Utilizando este teorema como punto de partida, se deduce el hecho de que la frecuencia de cada resultado particular es el producto de la frecuencia del suceso iniciador y de todas las probabilidades condicionadas de las ramas que existen entre el suceso iniciador y el resultado final. Respecto a las probabilidades, éstas pueden basarse en datos históricos

para los componentes específicos que se están evaluando, en datos genéricos o en el juicio subjetivo de expertos en la materia. Puesto que el objetivo es estimar los valores de frecuencias o probabilidades esperadas, los datos de partida deberían ser sensibles a cualquier cambio en los sistemas, en el personal o en los factores organizativos.

Con referencia al ejemplo simplificado de la figura 4.2, suponiendo que las frecuencias o probabilidades condicionadas aplicables son las de la tabla 4.2 (todas las probabilidades lo son de la opción más desfavorable), se obtendrían las frecuencias de la tabla 4.3, cuya suma ha de coincidir obviamente con la frecuencia del suceso iniciador.

TABLA 4.2. Datos de partida para la cuantificación del árbol de la figura 4.2

Suceso, función de seguridad o condición	Frecuencia o probabilidad	Origen del dato
A. Suceso iniciador	0,1 veces/año	Base de datos históricos
B. Función de seguridad	0,1	Análisis independiente
C. Condición física	0,15	Opinión de expertos
D. Función de seguridad	0,30	Opinión de expertos
E. Condición física	0,08	Climatología de la zona
F. Función de seguridad	0,05	Datos del fabricante del sistema

TABLA 4.3. Resultados y frecuencias del árbol de sucesos de la figura 4.2

Resultado del accidente	Cálculo	Frecuencia, veces/año
AB	$0,1 \times 0,9$	0,09
A B-C	$0,1 \times 0,1 \times 0,85$	0,0085
A B-C D	$0,1 \times 0,1 \times 0,15 \times 0,7$	0,00105
A B-C D E	$0,1 \times 0,1 \times 0,15 \times 0,30 \times 0,92$	0,000414
A B-C D E F	$0,1 \times 0,1 \times 0,15 \times 0,30 \times 0,08 \times 0,95$	0,0000342
A B-C D E F	$0,1 \times 0,1 \times 0,15 \times 0,30 \times 0,08 \times 0,05$	0,0000018
Suma de frecuencias	0,1	0,1

4.2.8. Verificación de los resultados obtenidos en el análisis

Algunas de las causas frecuentes de error en los análisis mediante árboles de sucesos son la omisión de ramas importantes, la incorrecta secuencia de las funciones de seguridad o el pasar por alto el carácter condicional de las probabilidades. Una etapa importante en el análisis es la de comprobar los resultados con el sentido común y frente a los registros históricos. Esta etapa es más eficaz si se lleva a cabo por un agente independiente del equipo que ha llevado a cabo el análisis previo.

Una comprobación trivial la constituye el hecho de que la suma de todas las frecuencias de los resultados debe igualar a la frecuencia del suceso iniciador.

Por el contrario, una verificación más detallada incluiría la consideración de los efectos de:

- Alterar el orden de actuación de las diferentes funciones de seguridad.
- Considerar éxitos –o fracasos– parciales de esas funciones.
- Contar con la contribución en paralelo de actuaciones de los operadores y de los sistemas automáticos de regulación.
- Ampliar el número de los diferentes aspectos capaces de modificar el resultado de un accidente, prevalecientes en el momento del suceso.
- Reconsiderar la condiciones que unas actuaciones imponen sobre otras.

4.2.9. Utilización de los resultados en la toma de decisiones

Los resultados de un análisis mediante árboles de sucesos deben manifestarse como una serie de recomendaciones orientadas a la mejora de la seguridad, tanto en su vertiente de reducción del número de sucesos iniciadores posibles, como en la limitación del alcance de sus consecuencias. Estos resultados pueden también servir de base para acometer estudios adicionales y más profundos de determinadas posibilidades de accidente. Entre las actuaciones que siguen a un análisis mediante árboles de sucesos, se encuentran las siguientes:

- **Identificación de oportunidades de mejora.** Éstas suelen encontrarse entre los elementos que presentan mayor probabilidad de contribuir a futuros problemas.
- **Recomendaciones para la mejora.** Las sugerencias específicas para mejorar el funcionamiento en el futuro pueden incluir modificaciones en los equipos, cambios en los procedimientos normalizados de trabajo, modificaciones en la política tales como mayor frecuencia de inspecciones, más formación, etc.
- **Justificación de la utilización de los recursos.** Si las recomendaciones para la mejora son caras o suscitan controversias, el análisis puede ayudar a comparar sus costes con los beneficios esperados durante todo el ciclo de vida de la planta a la que intentan proteger.

4.3. Aplicaciones de la técnica

Los árboles de sucesos se utilizan en los análisis de riesgos de un amplio abanico de sistemas tecnológicos. Son una parte consustancial en la mayoría de los análisis de riesgos, pero pueden utilizarse también como una herramienta de diseño para evaluar y demostrar la efectividad de los sistemas de protección en una planta. Se aplicaron en primer lugar en la industria nuclear, pero ahora se han extendido a la industria de procesos químicos, a las plataformas petrolíferas y al transporte.

Resultan especialmente útiles para el análisis de procesos que:

- Presentan potencialmente un número elevado de sucesos iniciadores.
- Poseen varios niveles de sistemas de seguridad o de procedimientos de emergencia implantados para responder a sucesos iniciadores específicos, por lo que los accidentes sólo es probable que ocurran por múltiples sistemas en fallo.
- Los sucesos iniciadores pueden desembocar en un gran número de resultados diferentes.

También se usan eficazmente para analizar la combinación de circunstancias que rodean a un derrame desde un vehículo de transporte o para procesos discontinuos.

Con relación a las fases del ciclo de la vida de un proyecto en las que estos análisis resultan aplicables, pueden citarse las de planta piloto, ingeniería de detalle, operaciones de rutina, modificaciones y ampliaciones e investigación de accidentes. Se usan más escasamente –o son directamente inapropiados- en la fase de I+D, en el diseño conceptual, en la construcción y puesta en marcha, y en la retirada de servicio de la planta.

Respecto a los objetivos, el análisis puede ser cuantitativo o cualitativo, dependiendo de si calcula o no las frecuencias o probabilidades de los diferentes resultados finales.

Otra clasificación posible es la que atiende al momento incidental en el que se considera el suceso iniciador (figuras 4.3 y 4.4)

- La aplicación *previa a un accidente* examina los sistemas de protección preparados para evitar que los incidentes precursores acaben conduciendo a un accidente; a menudo, el análisis del árbol de sucesos de estos sistemas es suficiente para evaluar la eficacia del sistema de protección, contemplado como conjunto. Un ejemplo de esta aplicación sería el análisis que sigue al fallo de la refrigeración de un reactor exotérmico sometido a la posibilidad de una reacción descontrolada (figura 4.3)
- La aplicación *posterior a un accidente* se usa para identificar y distribuir cuantitativamente los diferentes resultados del mismo suponiendo que éste ya ha ocurrido. Un árbol de sucesos de este tipo se usaría para evaluar los posibles resultados (por ejemplo: incendio flash, UVCE, BLEVE, dispersión segura, etc.) que podrían tener lugar a partir del escape de un material inflamable. Un ejemplo es el escape de un material inflamable en el punto X y los resultados de ese incidente en el punto Y, situado a favor del viento respecto de X (figura 4.4) .

De hecho, ambos usos son complementarios: el árbol de sucesos *posterior a un accidente* puede adjuntarse a aquellas ramas de árbol de sucesos *previo a un accidente* que den lugar a fallo del sistema de seguridad.

Fallo de la refrigeración del reactor A	Alarma por bajo caudal de agua al reactor B	Alarma por alta temperatura en el reactor C	Vaciado rápido automático del reactor D	Descripción del estado del sistema tras la secuencia
--	--	--	--	--

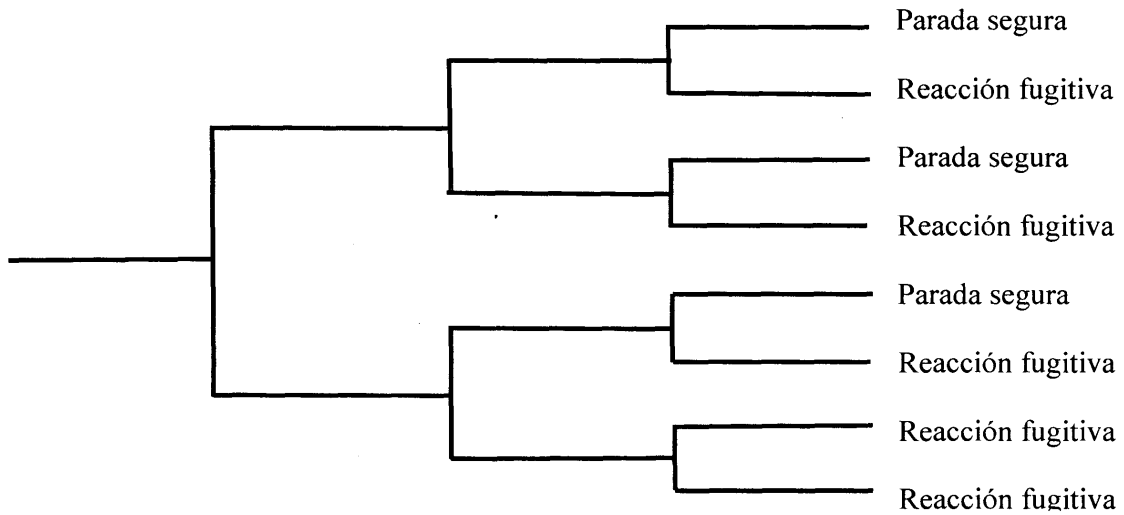


FIGURA 4.3. Ejemplo de árbol de sucesos previo a un potencial accidente.

Fuga de gas inflamable A	Control de fuentes de ignición próximas B	Viento hacia zonas despobladas C	Control de fuentes de ignición en zonas pobladas E	Sólo se produce la ignición de la nube F	Descripción del estado del sistema tras la secuencia
-----------------------------	--	-------------------------------------	---	---	--

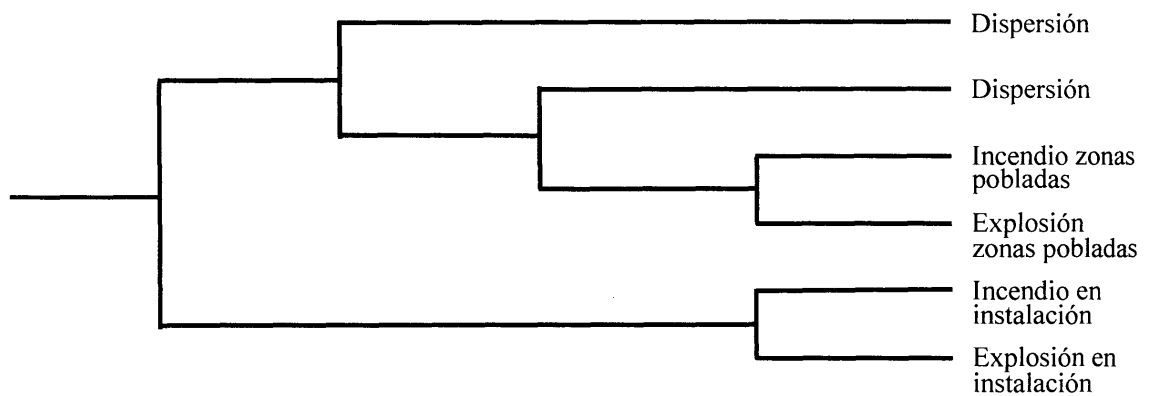


FIGURA 4.4. Ejemplo de árbol de sucesos posterior a un accidente.

4.4. VENTAJAS Y LIMITACIONES

Entre las primeras se encuentran las siguientes:

- Los sucesos finales no tienen que adivinarse; por el contrario, el árbol de sucesos refleja los resultados finales de un suceso iniciador, de una forma sistemática, lógica y autoexplicativa, que resulta fácil de revisar por alguien ajeno al autor.
- Los cálculos aritméticos y las deducciones lógicas son simples y el formato es normalmente compacto.
- El método permite que destaquen tanto la utilidad como las potenciales debilidades de los sistemas de protección, indicando especialmente qué resultados podrían conducir directamente a accidentes, sin que puedan intervenir sistemas de protección (fallos potenciales de punto único).
- Las dependencias pueden tratarse de forma explícita en un árbol de sucesos a base de considerar los fallos dependientes como «sucesos máximos» y analizando con un árbol de fallos sus probabilidades condicionales.
- Permite descartar los elementos u opciones de los sistemas que no valen la pena.

Aunque el análisis mediante árboles de sucesos es una técnica muy efectiva a la hora de determinar cómo varios sucesos iniciadores pueden dar lugar a accidentes de interés, está sometida a las siguientes limitaciones:

- El árbol de sucesos no es un enfoque exhaustivo para identificar las causas que pueden dar lugar a un accidente. Para identificar estas causas, la técnica debe reforzarse con otras tales como las listas de comprobación, como se recomienda en esta Guía.
- Los sucesos iniciadores se tratan individualmente; para múltiples sucesos se necesitan múltiples árboles.
- Cada nodo de un árbol de sucesos multiplica por dos (o más) el número de resultados y aumenta la complejidad de la clasificación y de la combinación de frecuencias. Desde un punto de vista práctico, esto limita el número de nodos que puede manejarse razonablemente a un valor entre 7 y 10.
- Puede pasar por alto dependencias sutiles entre las funciones de seguridad (componentes comunes, sistemas de *utilities*, etc.) produciendo una estimación optimista del nivel de riesgo.
- Es preciso anticipar los caminos que seguirán las operaciones realizadas por los operadores o por los sistemas de control.
- No resulta fácil la consideración de sucesos iniciadores concurrentes en el tiempo, ni de los éxitos o fallos parciales.
- Los escenarios que dependen de la secuencia no se modelan bien.

4.5. ENFOQUES COMPLEMENTARIOS

Este apartado final incluye descripciones someras de dos técnicas cuya metodología se apoya y complementa a la de los análisis mediante árboles de sucesos. La primera de ellas, el análisis de las capas de protección, ha ido adquiriendo relieve como herramienta para evaluar el grado de robustez necesario en un sistema de seguridad, para garantizar un nivel de riesgo tolerable bajo los criterios de una organización. La segunda, el análisis de la fiabilidad humana, constituye a menudo una etapa previa en la evaluación de la probabilidad de fallo de los seres humanos cuando se ven sometidos a la necesidad de actuar de una forma determinada; frecuentemente, esa actuación –y sus resultados– forman parte de la potencial secuencia accidental representada mediante árboles de sucesos.

4.5.1. El análisis de las capas de protección

Esta técnica semicuantitativa de evaluación de riesgos, más conocida por sus siglas en inglés (*LOPA: Layer of protection analysis*), se basa en el concepto de capa de protección de seguridad. Una posible forma de mostrar los diferentes niveles de protección para un proceso se recoge en la figura 4.5.

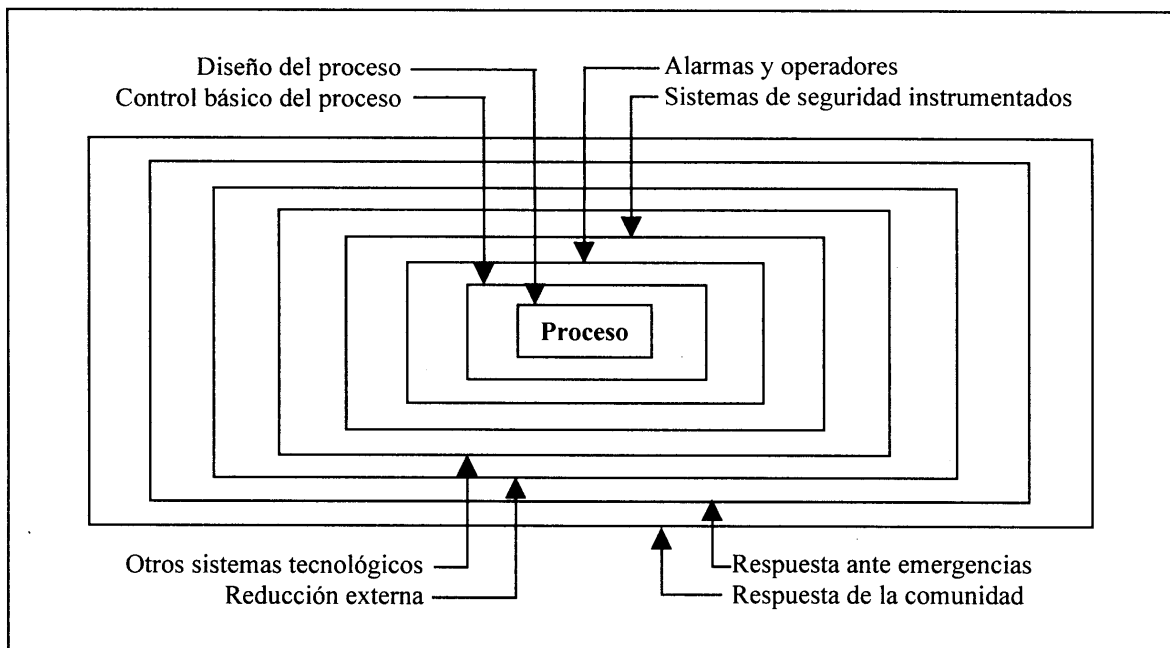


FIGURA 4.5. Concepto del análisis de las capas de protección.

La técnica suele aplicarse después de una etapa de identificación de peligros realizada mediante listas de comprobación, *HAZOP*, etc. Su carácter de semicuantitativa procede del hecho de que la estimación numérica del riesgo se hace en términos de órdenes de magnitud y no de estimaciones precisas (Dowell, 2002).

La primera y más interna de las capas de protección es la naturaleza inherente del proceso; la última y más externa de las capas es la respuesta que la comunidad esté en condiciones de ofrecer ante una emergencia.

La prevención y la mitigación de los sucesos peligrosos dependen de la disponibilidad y del funcionamiento correcto de las diferentes capas de protección de seguridad (DRC 2003c). En caso de fallo de una de las capas, todavía se dispone de la del nivel siguiente para llevar el proceso hasta un estado seguro. A medida que crece el número de capas de protección y su fiabilidad, también lo hace la seguridad del proceso.

El análisis de las capas de protección se centra en la caracterización del funcionamiento de los diferentes sistemas de seguridad y en su orden de actuación durante las situaciones inseguras. Contribuye, por tanto, a entender la secuencia de sucesos que tienen lugar entre la causa y un determinado resultado peligroso.

La técnica se lleva a cabo a través de las siguientes etapas:

1. Identificación de todos los sucesos peligrosos, mediante un análisis de los peligros del proceso con alguna de las técnicas convencionales.
2. Para cada uno de los sucesos peligrosos, y en base al orden de magnitud de las pérdidas que provocaría, selección de la máxima probabilidad tolerable para ese suceso.
3. Identificación y listado de todos los sucesos iniciadores que pueden conducir al impacto no deseado. La técnica se centra en cada uno de los escenarios posibles, considerando como tales a las combinaciones suceso iniciador/ consecuencias.
4. Determinación provisional de todas las capas de protección disponibles para prevenir que un suceso iniciador dado se propague hasta convertirse en el impacto no deseado (algunas capas de protección pueden ser diferentes para cada suceso iniciador).
5. Caracterización de cada una de las capas, desde los siguientes puntos de vista:
 - ¿De actuar correctamente, sería efectiva para evitar que el escenario alcance las consecuencias temidas?
 - ¿Es independiente del suceso iniciador y del estado de éxito o fallo de las capas precedentes?Sólo si ambas condiciones se cumplen, puede considerarse que ese sistema es una capa de protección independiente.
6. Cuantificación de la frecuencia de los sucesos iniciadores, en base a datos históricos o a criterios de ingeniería.
7. Evaluación de la eficacia de cada capa de protección, en términos de probabilidad de fallo ante demanda, en base al análisis histórico o a criterios de ingeniería.
8. Cálculo de la frecuencia del suceso peligroso.
9. Comparación de la frecuencia estimada con el objetivo de probabilidad establecido en el punto 2, para identificar la naturaleza de las capas de protección adicionales que serían necesarias para cumplir el objetivo.

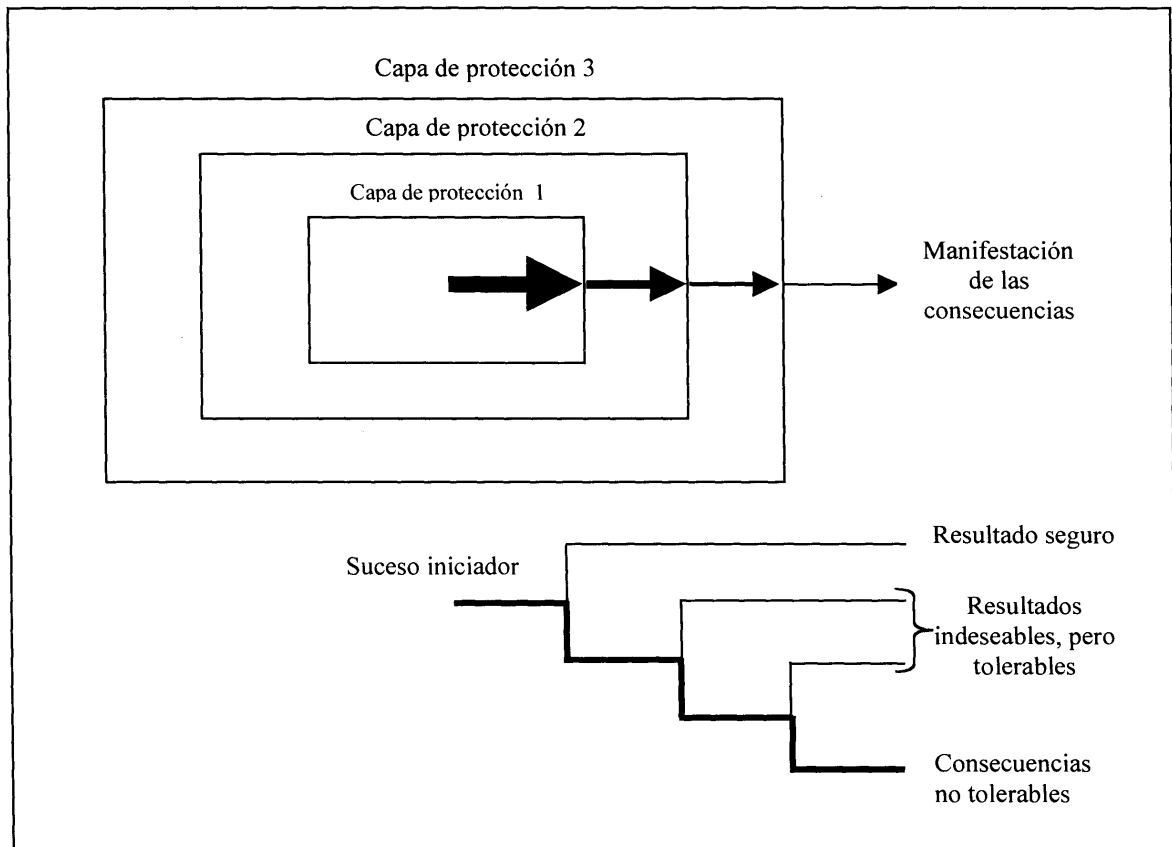


FIGURA 4.6. Relación entre el análisis de las capas de protección y el árbol de sucesos.

El análisis de las capas de protección es una variante del análisis mediante árboles de sucesos en la que solamente se consideran dos categorías de resultados finales: el impacto no deseado o su ausencia. La figura 4.6 muestra una comparación entre el árbol de sucesos y el análisis de las capas de protección; este último describe una única trayectoria a través del árbol de sucesos, que se ha representado mediante una línea más gruesa. La frecuencia del suceso iniciador es la que inicia el árbol de sucesos. Más allá de este, hay varias ramificaciones, correspondiendo cada una de ellas a una capa de protección. Cada ramificación tiene sólo dos caminos: uno para la propagación del suceso y el otro para su ausencia.

4.5.2. Los análisis de la fiabilidad humana

Los árboles de sucesos aplicados al análisis de la fiabilidad humana sirven para evaluar la frecuencia de los posibles errores cometidos por las personas cuando llevan a cabo determinados procedimientos de trabajo. Esta técnica puede modelar el intervalo completo de los posibles resultados de la ejecución de un procedimiento realizado por una o varias personas, contemplando tanto los errores como las acciones encaminadas a corregirlos y los posibles fallos de los equipos involucrados. Como se indica en la figura 4.7,

Inicio del procedimiento	Primera tarea a realizar a/A	Segunda tarea a realizar b/B	Anulación tareas ejecutadas c/C	Resultado final de la secuencia de actuaciones
--------------------------	---------------------------------	---------------------------------	------------------------------------	--

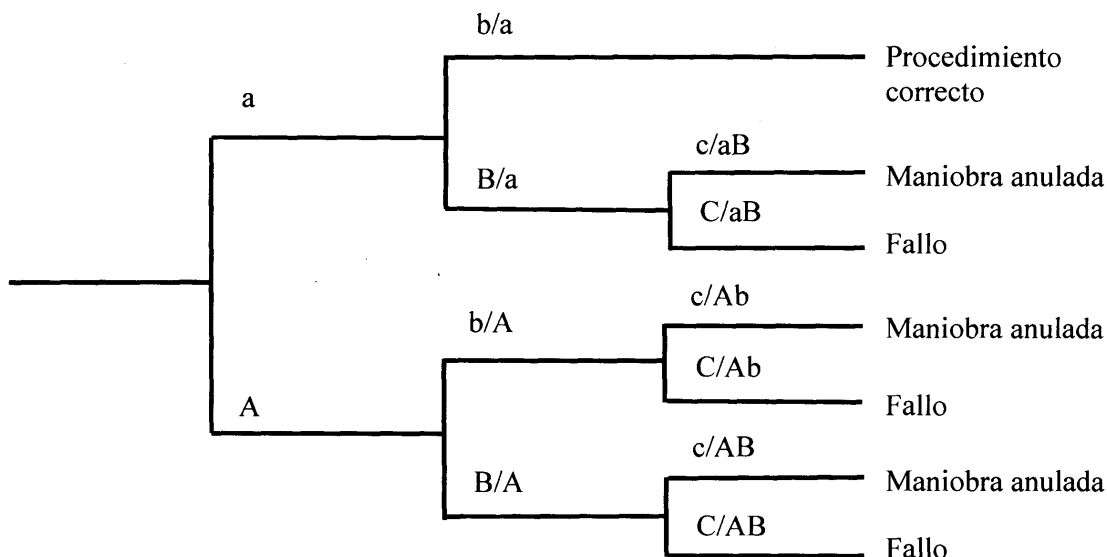


FIGURA 4.7. Aplicación del árbol de sucesos a los análisis de la fiabilidad humana.

cada etapa del procedimiento se representa por una letra y puede realizarse correcta o incorrectamente. La letra minúscula representa la actuación correcta, mientras que la mayúscula designa el error.

Para el ejemplo representado en la figura 4.7, se ha supuesto que un operador tiene que realizar dos tareas en serie; la maniobra sólo es correcta si ambas tareas se realizan correctamente. No obstante, existe un periodo de tiempo durante el cual el operador puede anular la maniobra, en condiciones seguras, para comenzarla de nuevo.

Si los códigos alfabéticos que identifican las ramas se interpretan como probabilidades, es decir si c/aB , por ejemplo, representa la probabilidad de que el operador consiga anular la maniobra habiendo realizado correctamente la tarea «a/A», pero habiendo fallado en la «b/B», resulta:

- Probabilidad de maniobra correcta = $a(b/a)$
- Probabilidad de maniobra anulada = $a(B/a)(c/aB)+A(b/A)(c/Ab)+A(B/A)(c/AB)$
- Probabilidad de fallo no anulado = $a(B/a)(C/aB)+A(b/A)(C/Ab)+A(B/A)(C/AB)$

Esta técnica puede generar tanto descripciones cualitativas de los potenciales sucesos no deseados, como estimaciones cuantitativas de las frecuencias o probabilidades de los fallos y de la importancia relativa de las diferentes secuencias accidentales. De su

aplicación puede surgir una lista de recomendaciones para reducir los riesgos e incluso puede ayudar a evaluar la eficacia de las medidas recomendadas.

El método está orientado a la evaluación detallada de las operaciones a cargo de operadores, en especial de las tareas ajustadas a un procedimiento; es frecuente que se utilice como suplemento de evaluaciones de riesgos más amplias realizadas usando otras técnicas. Su campo más específico es el de aquellas situaciones en las que son necesarias combinaciones complejas de errores humanos y de fallos de equipos, para que se materialice un accidente.

Las limitaciones de la metodología no son ajenas a las del resto de las aplicaciones de los análisis mediante árboles de sucesos: por un lado, para obtener resultados fiables, resulta esencial el contar con personal entrenado en la aplicación de la técnica; por otro, la calidad de los resultados del análisis depende de la disponibilidad de datos aplicables a cada situación particular objeto de estudio. Debe tenerse presente, además, la influencia que ejercen determinados elementos de los sistemas de gestión de la seguridad (formación, comunicación, etc.), sobre la fiabilidad de las respuestas de los que operan o mantienen los sistemas técnicos (Hurst 1998).

Anexo

**Instalación de almacenamiento
de líquidos petrolíferos
Lista de comprobación**

TABLA A.1. Listas de comprobación y de identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
1	Zonificación y adecuación de los equipos instalados.		
1.1	Las áreas del establecimiento se han clasificado en zonas, en función del riesgo de explosión por la presencia de gases, vapores o nieblas inflamables mezcladas con el aire (1).	Zonas donde sea posible la presencia de mezclas explosivas y cuyos equipos no tengan el nivel de protección adecuado.	Evaluación de riesgos. Diseño y conservación. Condición latente. Acción automática.
1.2	Las instalaciones, equipos y materiales eléctricos cumplen los reglamentos de alta y baja tensión que les afectan.	Presencia de focos de ignición.	Evaluación de riesgos. Diseño y conservación. Condición latente. Acción automática.
1.3	Los restantes aparatos y sistemas de protección que se utilizan, poseen la categoría adecuada (2).	Zonas donde sea posible la presencia de mezclas explosivas y cuyos equipos no tengan el nivel de protección adecuado.	Evaluación de riesgos. Diseño y conservación. Condición latente. Acción automática.
2	Distancias de seguridad.		
2.1	Desde equipos que contienen líquidos petrolíferos (estaciones de bombeo, almacenamientos, cargaderos, balsas separadoras) a:		
	a) Otros equipos con líquidos petrolíferos.	Efecto dominó por propagación del incendio o por explosión.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación.
	b) Centrales de vapor.	Ignición de nubes inflamables.	Acción automática.
	c) Edificios administrativos y sociales, laboratorios, etc.	Ignición de nubes inflamables. Daños a los ocupantes del local.	Acción automática. Eficacia mitigación.
	d) Estaciones de bombeo contra incendios.	Destrucción de las estaciones o imposibilidad de operarlas en el momento necesario.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación. Gestión emergencias.
	e) Vallado del parque de almacenamiento.	Ignición de nubes inflamables.	Acción automática.
	f) Terrenos en los que pueden edificarse inmuebles habitados. Vías exteriores.	Ignición de nubes inflamables. Daños a la población.	Acción automática. Eficacia mitigación.
	g) Locales de pública concurrencia.	Ignición de nubes inflamables. Daños a los ocupantes del local.	Acción automática. Eficacia mitigación.

- (1) Clasificación de acuerdo con la Norma UNE-EN 60.079(10) "Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas. Parte 10: Clasificación de emplazamientos peligrosos"
- (2) Real Decreto 400/1996, de 1 de marzo, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo 94/9/CE, relativa a los aparatos de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas.

TABLA A.1. (cont.). Listas de comprobación y de identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
3	Limitación de accesos.		
3.1	Existe un cerramiento de 2,5 m de altura mínima, rodeando el conjunto de las instalaciones.	Presencia de personas no autorizadas en las instalaciones.	Diseño y conservación. Acción externa.
3.2	El cerramiento no obstaculiza la aireación y posee accesos para intervención y la evacuación en caso de necesidad.	Acceso difícil (incluso imposible) en caso de necesidad de intervención.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación. Gestión emergencias.
3.3	El vallado permite la salida de aguas pluviales, pero no de gases de hidrocarburos.	Presencia de mezclas explosivas en zonas de fuego abierto.	Acción automática.
3.4	Sólo permanecen abiertas las puertas que cuentan con control de accesos.	Presencia de personas no autorizadas en las instalaciones.	Prácticas de operación. Acción externa.
3.5	Las puertas del parque poseen anchura suficiente y están bien señalizadas.	Colisiones. Acceso difícil en caso de intervención.	Diseño y conservación. Acción externa. Gestión emergencias.
3.6	Plano de circulación indicando las zonas de aparcamiento de modo que quede libre todo acceso necesario para la lucha contra incendios.	Acceso difícil o incluso imposible en caso de intervención.	Diseño y conservación. Gestión emergencias.
4	Disposición y separación de tanques.		
4.1	Distancia entre paredes de los recipientes.	Efecto dominó por propagación del incendio o por explosión.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación.
4.2	Existencia de una calle o vía de acceso adyacente a cada tanque.	Acceso difícil o incluso imposible en caso de intervención.	Diseño y conservación. Gestión emergencias.
4.3	El acceso a los tanques y a las instalaciones de carga reúne las siguientes características: a) Puede hacerse desde dos direcciones diferentes. b) Posee la anchura necesaria para permitir el acceso de los medios de intervención. c) Carece de fondos de saco no señalizados (o existe espacio suficiente para dar media vuelta). d) Existe una distancia mínima de 3 m entre el cubeto y el límite del terreno.	Acceso difícil o incluso imposible en caso de intervención.	Diseño y conservación. Gestión emergencias.

TABLA A.1. (cont.). Listas de comprobación y de identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
5	Existencia y estado de los sistemas o servicios por los que han podido reducirse las distancias de seguridad.		
5.1	Muros cortafuegos RF 120 situados entre las instalaciones.	Efecto dominó por propagación.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación.
5.2	Sistemas fijos de agua pulverizada con accionamiento situado a más de 10 m de la instalación protegida (1).	Efecto dominó por propagación.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación.
5.3	Sistemas fijos de espuma con accionamiento a más de 10 m de la instalación protegida (1).	Incendio continuado.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación.
5.4	Otros sistemas fijos de extinción de incendios de accionamiento manual (1).	Incendio continuado.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación.
5.5	Brigada de lucha contra incendios propia, especialmente adiestrada y con los medios adecuados.	Incendio continuado.	Prácticas de operación. Eficacia mitigación. Gestión emergencias.
5.6	Medios para verter, de forma eficaz y rápida, espuma en el área de almacenamiento (1).	Incendio continuado.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación.
5.7	Número de hidrantes suficiente para cubrir con dos de ellos cada punto de la zona de riesgo.	Efecto dominó por propagación.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación.
5.8	Detectores automáticos fijos, con alarma, de atmósferas explosivas (1).	Presencia inadvertida de atmósferas explosivas.	Diseño y conservación. Control manual.
5.9	Sistemas fijos de inertización permanente en el interior de los recipientes de almacenamiento.	Atmósfera explosiva en el interior de tanques.	Diseño y conservación.
5.10	Los sistemas 5.2, 5.3 y 5.4 pero dotados de detección y accionamiento automáticos.	Dependencia del operador para controlar los riesgos enunciados en 5.2, 5.3 y 5.4.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación.
5.11	Monitores fijos protegiendo las áreas circundantes a la instalación considerada.	Efecto dominó por propagación.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación.
5.12	Para productos de la subclase B1: techo flotante en el depósito de almacenamiento y sistema fijo de espuma de accionamiento manual.	Presencia de atmósferas explosivas. Incendio continuado sobre el techo del tanque.	Diseño y conservación. Acción automática. Eficacia mitigación.

(1) En las condiciones fijadas en el artículo 7 del Real Decreto 1562/1998, de 17 de julio, por el que se modifica la I. T. C. MI-IP02 "Parques de almacenamiento de líquidos petrolíferos"

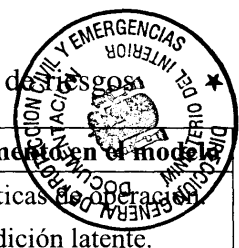
TABLA A.1. (cont.). Listas de comprobación y de identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
6	Cargaderos.		
6.1	<p>Existe una práctica de operación documentada, para la carga de cisternas, incluyendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Riesgos y prevención ante la contaminación de productos. - Colocación apagallamas antes de entrar al recinto. - Comprobación de ausencia de producto en la cisterna. - Aproximación al cargadero. - Posición del vehículo. - Inmovilización - Parada del motor. - Desconexión batería. - Desactivación teléfono móvil. - Puesta a tierra cisterna. - Verificación del producto y la cantidad a cargar en cada compartimento. - Verificación del vaciado total de cada compartimento. - Conexión de los brazos y apertura de válvulas. - Operación de carga. - Vigilancia continua durante el proceso de carga. - Actuación ante anomalías durante la carga.. - Desconexión de los brazos. - Desconexión puesta a tierra. - Posición de válvulas. - Comprobación de la inexistencia de fugas. - Maniobra en caso de cambio de isleta. - Actuaciones en caso de emergencia. - Salida del cargadero. 	<p>Errores de operación.</p> <p>Daños en equipos de usuarios. Existencia inadvertida de mezclas explosivas.</p> <p>Ignición por chispas del tubo de escape.</p> <p>Sobrellenados.</p> <p>Colisiones.</p> <p>Tensión en brazos/mangueras.</p> <p>Rotura de brazos/mangueras.</p> <p>Ignición en el motor del camión o en su sistema eléctrico.</p> <p>Ignición por sistema eléctrico.</p> <p>Cargas electrostáticas.</p> <p>Sobrellenado. Contaminación entre productos.</p> <p>Sobrellenado. Contaminación entre productos.</p> <p>Tensión en brazos/mangueras. Derrames.</p> <p>Derrames.</p> <p>Sobrellenado. Goteos.</p> <p>Progreso de las anomalías hasta convertirse en un incidente.</p> <p>Derrames.</p> <p>Daños al cable de conexión.</p> <p>Derrames durante el transporte.</p> <p>Derrames durante el transporte.</p> <p>Colisiones.</p> <p>Retrasos en la aplicación de actuaciones de emergencia.</p> <p>Colisiones.</p>	<p>Prácticas de operación.</p> <p>Condición latente.</p> <p>Acción automática.</p> <p>Condición latente. Desviación en proceso.</p> <p>Acción externa.</p> <p>Acción externa.</p> <p>Acción externa.</p> <p>Acción automática.</p> <p>Acción automática.</p> <p>Condición latente. Desviación en proceso.</p> <p>Condición latente. Desviación en proceso.</p> <p>Acción externa. Desviación en proceso.</p> <p>Desviación en proceso.</p> <p>Condición latente. Desviación en proceso.</p> <p>Control manual.</p> <p>Desviación en proceso.</p> <p>No aplicable.</p> <p>No aplicable.</p> <p>No aplicable.</p> <p>Acción externa.</p> <p>Eficacia de la mitigación.</p> <p>Acción externa.</p>

TABLA A.1. (cont.). Listas de comprobación y de identificación de riesgos

6.2	La disposición del cargadero es tal que los derrames líquidos fluyen hacia un sumidero, fuera de la proyección vertical del vehículo.	Extensión de una fuga líquida hasta formar un charco de gran superficie.	Diseño y conservación. Acción automática.
6.3	Los cargaderos son suficientemente espaciosos para que los camiones entren y salgan en un solo movimiento, sin necesidad de maniobra.	Impacto entre un vehículo y la instalación o colisión contra otro vehículo.	Diseño y conservación. Acción externa.
6.4	Está claramente señalizado el sentido único de movimiento de las cisternas en el cargadero.	Impacto entre un vehículo y la instalación o colisión contra otro vehículo.	Diseño y conservación. Acción externa.
6.5	Existen espacios para que los camiones estacionados en espera no obstaculicen la salida de los que están cargando, ni la circulación de los medios de lucha contra incendios.	Impacto entre un vehículo y la instalación o colisión contra otro vehículo. Acceso difícil o incluso imposible en caso de intervención.	Diseño y conservación. Acción externa. Eficacia mitigación. Gestión emergencias.
6.6	La estructura y las tuberías están conectadas eléctricamente entre sí y a una puesta a tierra mediante un conductor permanente.	Generación de cargas electrostáticas entre tuberías y estructuras.	Diseño y conservación. Acción automática.
6.7	Junto a cada puesto de carga, existe un conductor flexible permanentemente conectado por un extremo a tierra y por otro a una pieza de conexión de longitud suficiente para conectar a tierra la masa de la cisterna del camión.	Generación de cargas electrostáticas entre el sistema de tuberías y el camión.	Diseño y conservación. Acción automática.
6.8	Para los productos de clase B, existe un enclavamiento o dispositivo de alarma que garantiza la adecuada conexión a tierra.	Comienzo de la operación de carga sin las adecuadas conexiones a tierra	Diseño y conservación. Acción automática.
6.9	Con líquidos de conductividad inferior a 50 pS/m, se limita a 1 m/s la velocidad de entrada.	Generación de cargas electrostáticas durante el proceso de carga.	Prácticas de operación. Control manual.
6.10	Está rigurosamente implantado un programa de inspección de los sistemas de conexión equipotencial.	Deterioro y pérdida de funcionalidad de los sistemas de conexión equipotencial.	Diseño y conservación. Acción automática.

TABLA A.1. (cont.). Listas de comprobación y de identificación de riesgos



	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elementos en el modelo
6.11	Se garantiza (mediante el aporte de un aditivo antiestático) que la conductividad supera los 50 pS/m.	Capacidad del producto para generar cargas electrostáticas.	Prácticas de operación. Condición latente.
6.12	Se evita cargar una cisterna que ha llevado un líquido con bajo punto de inflamación, con otro de alto punto de inflamación.	Presencia inadvertida de vapores de bajo punto de inflamación.	Prácticas de operación. Condición latente.
6.13	No se coloca ningún objeto conductor en la cisterna durante ni poco después de la carga (reglas de nivel, termómetros,...).	Ignición por cargas electrostáticas durante el proceso de carga.	Prácticas de operación. Acción externa.
6.14	Si el producto pasa a través de filtros, se le permite un tiempo de relajación en un recipiente intermedio antes de la carga.	Generación inadvertida de cargas electrostáticas.	Prácticas de operación. Condición latente.
6.15	Las mangueras flexibles que se utilizan conducen la electricidad o son antiestáticas.	Generación de cargas electrostáticas durante el flujo del producto por la manguera.	Diseño y conservación. Acción automática.
6.16	Las mangueras son compatibles con el líquido a cargar.	Debilitamiento de la manguera por incompatibilidad química.	Diseño y conservación. Condición latente.
6.17	Las mangueras flexibles se revisan periódicamente, al menos cada año, dejando registro.	Debilitamiento inadvertido de la manguera durante el uso.	Diseño y conservación. Condición latente.
6.18	Existe un mecanismo que interrumpe la carga en caso de movimiento del camión.	Derrames debidos al movimiento o a la marcha del camión durante la carga.	Diseño y conservación. Acción automática.
6.19	El procedimiento de carga exige una inspección visual antes de cada utilización de la manguera.	Utilización de una manguera cuyo mal estado se desconoce.	Prácticas de operación. Condición latente.
6.20	Tras su utilización, las mangueras se disponen en un lugar adecuado y seguro.	Deterioro inadvertido de la manguera por almacenarla en un lugar inadecuado.	Diseño y conservación. Prácticas de operación. Condición latente.
6.21	Existe iluminación suficiente (incluyendo la de emergencia) o se carga sólo durante el día.	Errores de operación o fallos en actuaciones de control, por baja iluminación.	Diseño y conservación. Acción externa. Control manual.
6.22	Se ejerce una vigilancia continua de las operaciones de carga.	Ausencia de detección de un problema.	Prácticas de operación. Control manual.
6.23	Existe un enclavamiento ante sobrellenado o bombas dosificadoras de parada automática.	Derrame por sobrellenado.	Diseño y conservación. Condición latente. Desviación en proceso.
6.24	Se efectúa el vaciado o la aspiración de las tuberías hasta la válvula.	Liberación de producto durante la desconexión de las mangueras.	Prácticas de operación. Desviación en proceso.

TABLA A.1. (cont.). Listas de comprobación y de identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
6.25	Está rigurosamente implantado un programa de inspección de los mecanismos automáticos utilizados para prevenir el sobrellenado.	Derrame por sobrellenado.	Diseño y conservación. Condición latente. Desviación en proceso.
6.26	Se efectúa el vaciado o la aspiración de las tuberías hasta la válvula.	Liberación de producto durante la desconexión de las mangueras.	Prácticas de operación. Desviación en proceso.
6.27	Se dispone de cubos para recogida de los restos de líquido durante la desconexión.	Liberación de producto durante la desconexión de las mangueras.	Prácticas de operación. Desviación en proceso.
6.28	Existen los medios necesarios para eliminar inmediatamente y de manera segura una fuga de líquido.	Liberación de producto durante la desconexión de las mangueras.	Prácticas de operación. Desviación en proceso.
6.29	Existen válvulas con mando a distancia para aislar el camión cisterna de la instalación.	Liberación de cantidades importantes de líquido incluso tras la detección precoz de una fuga.	Diseño y conservación. Control manual. Desviación en proceso.
6.30	Existen interruptores de parada de emergencia: a) situados en las vías de evacuación, b) que cierran automáticamente las válvulas de mando a distancia, c) que paran inmediatamente la carga y d) que activan una alarma en la sala de control.	Liberación de cantidades importantes de líquido inflamable, incluso tras la detección precoz de una fuga.	Diseño y conservación. Control manual. Desviación en proceso.
6.31	Existen sistemas de recogida de las fugas líquidas (pozo de recuperación para grandes fugas y bandejas para las pequeñas).	Extensión de una fuga líquida hasta formar un charco de gran superficie.	Diseño y conservación. Control manual. Acción automática.
6.32	Todas las conexiones y válvulas importantes indican claramente su función (producto, tanque, etc.).	Errores de operación.	Diseño y conservación. Acción externa.
6.33	Se controla el nivel máximo de llenado de las cisternas.	Problemas durante el transporte.	Prácticas de operación.
6.34	Se controla el nivel mínimo de llenado para evitar las oscilaciones excesivas de la carga.	Problemas durante el transporte.	Prácticas de operación.

TABLA A.1. (cont.). Listas de comprobación y de identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
7	Tuberías.		
7.1	Las tuberías han sido diseñadas de acuerdo a una norma o código reconocido.	Fallos por mal diseño.	Diseño y conservación. Condición latente.
7.2	El material de las tuberías es acero u otro material compatible con el líquido a transportar.	Fallos por incompatibilidad de materiales.	Diseño y conservación. Condición latente.
7.3	Se han usado tramos de la mayor longitud posible, unidos por soldadura, limitando las uniones embridadas a las estrictamente necesarias.	Fugas por bridas.	Diseño y conservación. Condición latente.
7.4	Durante el diseño se han tenido en cuenta las tensiones estructurales (empujes, vibración, dilataciones, contracciones, etc.).	Fallos por tensiones estructurales.	Diseño y conservación. Condición latente.
7.5	Se ha verificado en profundidad, mediante inspección, que en la construcción se ha seguido el diseño.	Fallos en la construcción.	Diseño y conservación. Condición latente.
7.6	Se ha efectuado una prueba de estanqueidad de las tuberías antes de su puesta en servicio.	Fallos en la construcción.	Diseño y conservación. Condición latente.
7.7	Los materiales de los puntos débiles tales como juntas de bridas, cierres de bombas y prensas de válvulas, son adecuados a los hidrocarburos con los que tienen contacto y para las condiciones extremas de presión y temperatura.	Fugas por bridas, válvulas, cierres de bombas, etc.	Diseño y conservación. Condición latente.
7.8	Para cada situación (tuberías enterradas, tuberías con aislamiento térmico, etc.) se ha usado una protección adaptada al tipo de corrosión posible.	Fallos por corrosión.	Diseño y conservación. Condición latente.
7.9	No existen puntos muertos en las tuberías susceptibles de facilitar un fenómeno de corrosión interna.	Fallos por corrosión.	Diseño y conservación. Condición latente.
7.10	Está rigurosamente implantado un programa de inspección para seguir el estado de las tuberías.	Fallos por corrosión.	Diseño y conservación. Condición latente.

TABLA A.1. (cont.). Listas de comprobación y de identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
7.11	Los soportes de los haces de tuberías aéreas aseguran una altura libre mínima de 4,5 m en los pasos de vehículos.	Impactos del tráfico rodado.	Diseño y conservación. Condición latente. Acción externa.
7.12	El tráfico rodado es orientado a lo largo de un itinerario seguro mediante señales y/o barreras.	Impactos del tráfico rodado.	Diseño y conservación. Condición latente. Acción externa.
7.13	La profundidad de las tuberías enterradas o su protección está adaptada a la carga que soportan.	Presión externa. Inestabilidad del suelo que acabe rompiendo el sistema de tuberías enterradas.	Diseño y conservación. Condición latente. Acción externa.
7.14	Existen planos de todas las tuberías enterradas, incluyendo su profundidad.	Impactos por trabajos de excavación.	Diseño y conservación. Condición latente. Acción externa.
7.15	Existe un procedimiento documentado para los trabajos de excavación.	Impactos por trabajos de excavación.	Prácticas de operación. Acción externa.
7.16	Está exenta de maleza y de materias combustibles la zona en torno a los haces de tuberías.	Afección de las tuberías por posibles incendios.	Diseño y conservación. Condición latente. Acción externa.
7.17	Los apoyos de las tuberías tienen una resistencia al fuego de 2 h como mínimo.	Extensión de un incendio debido a la rotura de una tubería.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación.
7.18	Los tramos de tubería en los que pueda quedar líquido atrapado, poseen una válvula de alivio, en caso de que la presión pueda superar la de diseño de la tubería.	Rotura de tuberías debida a la expansión térmica del líquido confinado.	Diseño y conservación. Acción automática.
7.19	La velocidad a la que se cierran las válvulas está adaptada a la red de tuberías.	Rotura de las tuberías por golpes de ariete.	Prácticas de operación. Acción externa.
7.20	Toda la red de tuberías está diseñada para la presión máxima que puede producirse en caso de un golpe de ariete.	Rotura de las tuberías por golpes de ariete.	Diseño y conservación. Condición latente. Acción externa.
7.21	Las tuberías están provistas de alivios de presión.	Rotura de las tuberías por golpes de ariete.	Diseño y conservación. Acción automática.
7.22	Existen supresores de detonación en los conductos que pueden contener mezclas vapor inflamable/aire.	Propagación de una explosión a través de los conductos que contienen vapores.	Diseño y conservación. Acción automática.
7.23	Existe un sistema de identificación de tuberías que indica el producto y el sentido del flujo.	Errores de operación o de mantenimiento.	Diseño y conservación. Acción externa.

TABLA A.1. (cont.). Listas de comprobación y de identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
8	Tanques (general).		
8.1	Diseñados y construidos según normas o códigos reconocidos.	Mal diseño o construcción del tanque.	Diseño y conservación. Condición latente.
8.2	Su material es compatible con los líquidos almacenados.	Mal diseño o construcción del tanque.	Diseño y conservación. Condición latente.
8.3	Se han proyectado para que, en caso de sobrepresión accidental, no se rompan por debajo del nivel máximo de utilización.	Rotura completa del tanque con derrame de gran cantidad de producto.	Diseño y conservación. Acción automática.
8.4	Se han dotado del adecuado sobreespesor por corrosión.	Rotura por corrosión.	Diseño y conservación. Condición latente.
8.5	Cuentan con protección contra la corrosión (materiales resistentes, recubrimientos, etc.).	Rotura por corrosión.	Diseño y conservación. Condición latente.
8.6	Está suficientemente impedida la infiltración de agua entre el fondo del tanque y su solera.	Pérdida de resistencia de la unión entre paredes y fondo.	Diseño y conservación. Condición latente.
8.7	Drenaje del agua acumulada en el interior del tanque.	Rotura por corrosión.	Diseño y conservación. Condición latente.
8.8	Existencia de inspecciones externas e internas, de acuerdo con el código adoptado.	Rotura por corrosión.	Diseño y conservación. Condición latente.
8.9	En tanques reutilizados, se ha verificado su adecuación (compatibilidad, densidad del líquido, temperatura de trabajo).	Mal diseño o construcción del tanque.	Diseño y conservación. Condición latente.
8.10	Se han certificado las medidas de espesor y de resistencia antes de la puesta en servicio.	Mal diseño o construcción del tanque.	Diseño y conservación. Condición latente.
8.11	La estabilidad del suelo está garantizada por el diseño de la solera (medidas periódicas).	Movimientos del terreno.	Diseño y conservación. Condición latente.
8.12	Se ha sometido a prueba hidrostática, comprobando las fugas, deformaciones o asentamientos.	Insuficiente estanqueidad y estabilidad del tanque.	Diseño y conservación. Condición latente.
8.13	Fijación sólida a una solera suficientemente pesada.	Flotación del tanque el caso de inundación.	Diseño y conservación. Acción externa. Condición latente.
8.14	Ante el riesgo de inundación, se mantiene un nivel suficiente.	Flotación del tanque el caso de inundación.	
8.15	Sus accesorios tienen características mecánicas al menos iguales a las del propio tanque.	Derrame a través de accesorios.	Diseño y conservación. Condición latente.

TABLA A.1. (cont.). Listas de comprobación y de identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
8.16	Las válvulas acopladas a los tanques son de acero y se conectan mediante tubuladuras soldadas directamente al tanque.	Puntos débiles entre las válvulas y las paredes de los tanques.	Diseño y conservación. Condición latente.
8.17	Las válvulas a pié de tanque son resistentes al fuego.	Extensión de un incendio por rotura de la válvula.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación.
8.18	La resistencia al fuego de las juntas entre el tanque y sus válvulas es la adecuada.	Extensión de un incendio por rotura de una junta.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación.
8.19	Los tramos de tubería entre el tanque y las válvulas están protegidos contra el fuego.	Extensión de un incendio por rotura del tramo de tubería.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación.
8.20	Existen válvulas comandables a distancia lo más cerca posible de los tanques.	Vaciado de un tanque en caso de una rotura del sistema de tuberías.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación.
8.21	Las válvulas comandables a distancia: <ul style="list-style-type: none"> - Se cierran desde el exterior de la zona peligrosa. - Poseen indicador de estado. - Adoptan un estado seguro en caso de fallo. - Se activan por el interruptor de parada de emergencia. - Su cierre activa la parada de las bombas. 	Propagación de los peligros después de la detección de un problema (derrame, incendio, etc.).	Diseño y conservación. Eficacia mitigación.
8.22	En tanques de escasos trasiegos existe un procedimiento que garantiza que sus válvulas permanecen cerradas.	Vaciado de un tanque en caso de una rotura del sistema de tuberías.	Prácticas de operación. Eficacia mitigación.
8.23	El procedimiento de llenado incluye la comprobación del espacio libre disponible.	Fuga limitada por sobrellenado.	Prácticas de operación. Condición latente. Desviación en proceso
8.24	Medida continua del nivel, con alarma por alto nivel.	Fuga limitada por sobrellenado.	Diseño y conservación. Condición latente.
8.25	Está rigurosamente implantado un programa de inspección del sistema de medida del nivel.	Fuga limitada por sobrellenado.	Diseño y conservación. Condición latente.
8.26	Existe una protección independiente contra el sobrellenado.	Fuga limitada por sobrellenado.	Diseño y conservación. Condición latente.
8.27	Presencia regular de operadores u otros medios de supervisión.	Detección tardía de problemas y derrame de cantidad importante.	Control manual.

TABLA A.1. (cont.). Listas de comprobación y de identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
8.28	Elementos de detección precoz: - Alarmas ante todo cambio de nivel inesperado. - Detectores de líquido en los cubetos. - Detectores de gases inflamables.	No detección de una fuga y liberación de una cantidad importante de líquido o vapor.	Diseño y conservación. Control manual.
8.29	Estudio de los riesgos de la operación de drenaje del agua y procedimiento operativo acorde.	Liberación incontrolada de líquidos petrolíferos durante el drenaje de agua del tanque.	Prácticas de operación. Acción externa.
8.30	Doble válvula en las aberturas destinadas al drenaje de agua del interior de los tanques.	Liberación incontrolada de líquidos petrolíferos durante el drenaje de agua del tanque.	Diseño y conservación. Acción externa.
8.31	Los tanques, sus apoyos y, en su caso, los techos flotantes, están puestos a tierra.	Electricidad estática.	Diseño y conservación. Acción automática.
8.32	Está rigurosamente implantado un programa de inspección de las resistencias de las tierras.	Electricidad estática.	Diseño y conservación. Acción automática.
8.33	Se impide la formación de una atmósfera inflamable en el tanque inertizando o mediante el uso de techos flotantes.	Carga estática del líquido en las operaciones de llenado.	Diseño y conservación. Acción automática.
8.34	Todos los accesorios (regletas de nivel, frascos de toma de muestras,..) son conductores y se conectan a tierra.	Ignición electrostática durante operaciones de medida.	Diseño y conservación. Prácticas de operación. Acción automática.
8.35	Procedimiento para realizar labores de mantenimiento: - Aislamiento con bridas ciegas. - Limpieza en profundidad de la totalidad del tanque. - Eliminación de gases y ventilación permanente. - Prueba continua de la presencia de mezclas inflamables. - Permisos de trabajo en caliente.	Accidentes durante el trabajo en los tanques.	Prácticas de operación. Acción externa. Condición latente.
8.36	Se indica en cada tanque su código, producto y capacidad de almacenamiento.	Errores de operación.	Diseño y conservación. Acción externa.

TABLA A.1. (cont.). Listas de comprobación y de identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
9	Tanques (techo fijo).		
9.1	Cuentan con una unión débil entre las paredes y el techo.	Colapso del tanque por sobre-presión (incendio o explosión).	Diseño y conservación. Eficacia mitigación.
9.2	Disponen de venteos abiertos en número y con sección suficiente para equilibrar la (de)presión producida por los trasiegos.	Rotura completa del recipiente por (vacío) sobrepresión.	Diseño y conservación. Acción externa. Condición latente.
9.3	Válvulas de descarga dimensionadas contra la carga de fuego.	Colapso del tanque por sobre-presión (incendio o explosión).	Diseño y conservación. Eficacia mitigación.
9.4	No puede acumularse agua de condensación sobre las válvulas de respiración.	Rotura del tanque debido al funcionamiento defectuoso o al mal reglaje de las válvulas.	Diseño y conservación. Acción externa. Condición latente.
9.5	Si existen tubos buzo para la alimentación de líquidos, cuentan con sistemas cortasifones.	Vaciado de un tanque en caso de una rotura en el sistema de tuberías.	Diseño y conservación. Acción externa. Condición latente.
9.6	El sistema de recuperación de vapor impide que se acumule líquido en él.	Presencia de líquido en el sistema de recuperación de vapor.	Diseño y conservación. Condición latente.
9.7	Todas las bocas diferentes de las de respiración son estancas.	Ignición de los vapores procedentes del tanque.	Diseño y conservación. Acción automática.
9.8	Sistema de inertización o cortallamas en todas las bocas de respiración.	Explosión en el tanque debida al retorno de llamas por las bocas de respiración.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación.
9.9	Los vapores de líquidos muy inflamables no pueden llegar por las tuberías de vapor.	Mezcla explosiva de vapores en el tanque del líquido menos inflamable.	Diseño y conservación. Condición latente.
10	Tanques (pantalla flotante).		
10.1	El líquido se introduce en el tanque bien desgasificado.	Inversión del techo a causa de una acumulación de gas.	Prácticas de operación. Condición latente.
10.2	Junta (<i>rim seal</i>) adecuada al material que contiene el tanque.	Presencia de inflamables por encima del techo.	Diseño y conservación. Desviación en proceso.
10.3	Control periódico de la ausencia de líquido inflamable sobre el techo y del estado de la junta.	Presencia de inflamables por encima del techo.	Prácticas de operación. Desviación en proceso.
10.4	Conexión equipotencial eficaz del techo y la pared del tanque.	Ignición por carga electrostática.	Diseño y conservación. Acción automática.
10.5	Presencia de una instalación de extinción.	Imposibilidad de extinguir un incendio por encima del techo.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación.
10.6	Pantalla de retención de espuma concéntrica con las paredes.	Imposibilidad de extinguir un incendio por encima del techo.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación.
10.7	El techo se mantiene en todo momento en posición flotante.	Cuando el techo descansa sobre sus apoyos, aparecen algunos riesgos de los de techo fijo.	Prácticas de operación. Acción externa.

TABLA A.1. (cont.). Listas de comprobación y de identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
11	Cubetos.		
11.1	Existencia de cubetos (1):	Formación de grandes charcos de derrames líquidos, porque el líquido inflamable pueda expandirse cubriendo grandes áreas.	Diseño y conservación. Acción automática.
11.2	a) De capacidad suficiente.		
11.3	b) Compartimentados con diques de tierra o muretes.		
11.4	c) De paredes estancas y resistentes al fuego.		
11.5	d) Resistentes a la presión hidrostática en caso de llenado.		
11.6	e) De una altura inferior a 3 m en la mitad de su periferia (con preferencia, la altura debería ser inferior a 1,5 m).	Acumulación de vapor a causa de insuficiente ventilación. Dificultad de las labores de extinción.	Diseño y conservación. Desviación en proceso. Gestión emergencias.
11.7	f) Rodeados en una cuarta parte de su periferia por vías de 4m de anchura.	Acceso difícil o incluso imposible de los vehículos de lucha contra incendios.	Diseño y conservación. Gestión emergencias.
11.8	g) Libres de materias combustibles e incompatibles con los productos almacenados o con el método de extinción.	Incendios en el interior del cubeto. Dificultades para la extinción de incendios.	Prácticas de operación. Acción externa. Gestión emergencias.
11.9	h) Libres de muros cortafuegos salvo que sean absolutamente indispensables para asegurar la prevención de incendios.	Acumulación de vapores debida a una ventilación insuficiente.	Diseño y conservación. Desviación en proceso.
11.10	i) Equipados con escaleras y rampas de acceso.	Evacuación difícil. Acceso difícil o incluso imposible de los vehículos de lucha contra incendios.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación. Gestión emergencias.
11.11	Procedimiento de drenaje de las aguas del cubeto sólo en presencia de un operador. En estado normal el drenaje está cerrado.	Propagación de fugas líquidas a través del drenaje del cubeto.	Prácticas de operación. Control manual.
11.12	Revisión regular del estado de cierre de la válvula del cubeto.	Propagación de fugas líquidas a través del drenaje del cubeto.	Prácticas de operación. Acción automática.
11.13	Existencia de un dispositivo para separar el agua de los líquidos inflamables.	Propagación de fugas líquidas a través del drenaje del cubeto.	Diseño y conservación. Acción automática.
11.14	El dispositivo de separación es resistente al fuego y puede actuarse sobre él desde un lugar seguro.	Propagación de fugas líquidas a través del drenaje del cubeto.	Diseño y conservación. Control manual.

(1) En las condiciones fijadas en el artículo 19 del Real Decreto 1562/1998, de 17 de julio, por el que se modifica la I. T. C. MI-IP02 "Parques de almacenamiento de líquidos petrolíferos"

TABLA A.1. (cont.). Listas de comprobación y de identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
12	Redes de drenaje.		
12.1	Diseñadas para proporcionar una adecuada evacuación de aguas hidrocarburadas, de lluvia y del servicio contra incendios.	Contaminación de aguas. Inundaciones. Encharcamientos.	Diseño y conservación. Acción externa. Acción automática.
12.2	Las redes permiten separar las aguas hidrocarburadas o susceptibles de serlo de las no contaminadas.	Extensión de los derrames de líquidos inflamables. Contaminación de las aguas.	Diseño y conservación. Acción automática.
12.3	Las redes de drenaje de aguas hidrocarburadas disponen de sifones para evitar la salida de gases.	Presencia de nubes de gases inflamables.	Diseño y conservación. Acción automática.
12.4	Las redes de agua no contaminada pueden aislarse de su punto de vertido normal y conectarse a un estanque de reserva o a una instalación de depuración.	Extensión de los derrames de líquidos inflamables. Contaminación de las aguas.	Diseño y conservación. Control manual.
12.5	Todas las arquetas tienen cierre hidráulico por salida a nivel superior a la entrada.	Posible propagación de incendios.	Diseño y conservación. Acción automática.
12.6	Los derrames líquidos no pueden llegar a las alcantarillas (separadores de capacidad suficiente o recogida en un pozo de recuperación que se vacía de forma controlada).	Extensión de una fuga líquida en un charco de gran superficie.	Diseño y conservación. Acción automática.
12.7	Las alcantarillas están equipadas con un sistema que impide la propagación de líquidos inflamables y de sus vapores.	Propagación de líquidos inflamables a través de las alcantarillas.	Diseño y conservación. Acción automática.
13	Medios de lucha contra incendios.		
13.1	Utilización de agua (1):		
	a) Fuentes de suministro.	Indisponibilidad de medios de enfriamiento y de extinción.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación. Gestión emergencias.
	b) Reserva permanente de agua.		
	c) Dimensionado de la red. Presión mínima de trabajo.		
	d) Distribución en malla y con válvulas de bloqueo.		

(1) En las condiciones fijadas en el artículo 39 del Real Decreto 1562/1998, de 17 de julio, por el que se modifica la I. T. C. MI-IP02 "Parques de almacenamiento de líquidos petrolíferos"

TABLA A.1. (cont.). Listas de comprobación y de identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
13.1	Utilización de agua (cont.) (1):		
	e) Tuberías independientes, protegidas de heladas y corrosión.	Indisponibilidad de medios de enfriamiento y de extinción.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación. Gestión emergencias.
	f) Hidrantes normalizadas y estratégicamente situadas.		
	g) Caudal suficiente en la situación más desfavorable.		
	h) Más de un grupo de bombeo. Fuentes de energía distintas.		
	i) Mantenimiento automático de la presión.		
13.2	Utilización de espuma (1):		
	a) Disponibilidad de medios fijos y/o móviles de generación.	Indisponibilidad de medios de extinción. Extensión de pequeños incendios.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación.
	b) Para la subclase B ₁ , protección fija por espuma.		
	c) Reserva de espuma.		
	d) Caudal mínimo de agua.		
	e) Protección de incendios en derrames dentro de cubetos.		
13.3	Mando de las instalaciones fijas: señalizados y utilizables en todas las circunstancias.	Medios de lucha contra el fuego no utilizables en caso de intervención.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación. Gestión emergencias.
13.4	Utilización de extintores (1):		
	a) De polvo y adecuados a la clase de fuego posible.	Medios de lucha contra el fuego no utilizables en caso de intervención.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación.
	b) En puestos de carga/descarga en cargaderos.		
	c) En zonas de bombas, separadores, acceso a los cubetos, etc.		
	d) En los diversos locales, de acuerdo con la legislación vigente.		
13.5	Está rigurosamente implantado un programa de inspección del material de lucha contra el fuego (extintores, bombas, etc.).	Medios de lucha contra el fuego no utilizables en caso de intervención.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación. Gestión emergencias.
13.6	Situación de los puntos fijos de alarma en caso de incendio (1).	Retraso en la comunicación de una situación de alarma.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación. Gestión emergencias

(1) En las condiciones fijadas en el artículo 39 del Real Decreto 1562/1998, de 17 de julio, por el que se modifica la I. T. C. MI-IP02 "Parques de almacenamiento de líquidos petrolíferos"

TABLA A.1. (cont.). Listas de comprobación y de identificación de riesgos

	Aspecto a verificar	Riesgo/s a evitar o reducir	Elemento en el modelo
14	Protección personal.		
14.1	Mantas ignífugas en los puestos donde pueda existir peligro de quemaduras para el personal (productos clase B).	Quemaduras graves al personal.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación.
14.2	Trajes de aproximación al fuego, equipos respiratorios, pantallas anticalóricas y demás elementos de protección.	Daños al personal por radiación térmica, gases de combustión, etc.	Diseño y conservación. Eficacia mitigación.
15	Normas de explotación.		
15.1	Manual de seguridad entregado a todo el personal con registro de su recepción (1).	Operaciones inadecuadas que pongan en peligro la seguridad de las personas y/o de las instalaciones.	Prácticas de operación. Acción externa. Control manual.
15.2	Normas particulares para las operaciones o trabajos bien definidos (1).		
15.3	Normas particulares para las empresas de servicios (1).		
15.4	Normas de seguridad de operación (1).		
16	Control de la existencia de otras fuentes de ignición.		
16.1	Existen prohibiciones de fumar, de llamas desnudas y de utilización de teléfonos móviles, en todos los puntos de acceso y en los emplazamientos peligrosos.	Presencia de fuentes de ignición.	Prácticas de operación. Acción automática.
16.2	Existe y está rigurosamente implantado un sistema de permisos de trabajo en caliente.		
16.3	Todos los motores/vehículos que se utilizan en las zonas clasificadas son seguros desde el punto de vista de la protección de explosiones (2).		
16.4	Todos los equipos eléctricos portátiles (receptores de radio, linternas, etc.) son seguros desde el punto de vista de la protección contra explosiones.		

(1) En las condiciones fijadas en el artículo 43 del Real Decreto 1562/1998, de 17 de julio, por el que se modifica la I. T. C. MI-IP02 "Parques de almacenamiento de líquidos petrolíferos"

(2) Debe prestarse una atención especial a los motores y a las máquinas herramienta utilizadas por los contratistas, así como a cualquier instalación de carácter temporal.

Referencias bibliográficas

- ANDREWS, J.D. y S.J. DUNNETT, 1999. Event Tree Analysis Using Binary Decision Diagrams. *Preprints* [en línea]. Loughborough U.K.: Department of Mathematical Sciences. Loughborough University, [Consultado 27 noviembre 2003]. Disponible en: <<http://www.lboro.ac.uk/departments/ma/preprints/papers99/99-25.pdf>>
- ATCR [Afdeling Toezicht Chemische Risico's], 2004. *Checklist. Zwavelzuur en Oleum* [en línea]. CRC/CL/006-N, ver. 1.0. Bruselas: Fod Werkg., Arbeid en Sociaal Overleg. [Consulta 8 mayo 2004]. Disponible en <http://meta.fgov.be/pa/ena_index.htm>.
- BAYBUTT, P. 2003. On the Ability of Process Hazard Analysis to Identify Accidents. *Process Safety Progres.* 22(3), 191.
- BERNUCHON, E. *et al.* 2001. *Improvement of the Hazard Identification and Assessment in Application of the Seveso II Directive* [en línea]. European Safety & Reliability International Conference (Esrel 2001), Turín, septiembre 2001. Milano: Associazione Italiana di Ingegneria Chimica. [Consultado 4 febrero 2003]. Disponible en <<http://www.aidic.it/italiano/congressi/esrel2001/webpapersesrel2001/26.pdf>>.
- BESTRATÉN BELLOVÍ, M. 1993. *NTP 328: Análisis de riesgos mediante el árbol de sucesos* [en línea]. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. [Consultado 9 mayo 2003]. Disponible en <http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_328.htm>.
- CCPS [Center for Chemical Process Safety]. 1989. *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*. Nueva York: American Institute of Chemical Engineers.
- CCPS [Center for Chemical Process Safety]. 1992. *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures. Second Edition with Worked Examples*. Nueva York: American Institute of Chemical Engineers.
- CEJALVO LAPEÑA, A. 1995. *NTP 369: Atmósferas potencialmente explosivas: instalaciones eléctricas* [en línea]. Madrid: Inst. Nac de Seg. e Higiene en el Trabajo. [Consultado 5 mayo 2003]. Disponible en <http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_369.htm>.
- CEPPO, 2002. *Audit and Investigation Reports* [en línea]. Washington: United States Environmental Protection Agency. [Consultado 20-24 octubre 2003]. Disponible en <<http://yosemite.epa.gov/oswer/ceppoweb.nsf/content/ap-chai.htm>>.
- CLEMENS, P.L. 2002. *Event Tree Analysis* [en línea]. 2ª ed., febrero 2002. Tullahoma, TN: Jacobs Sverdrup. [Consultado 28 noviembre 2003]. Disponible en <<http://www.sverdrup.com/safety/eventtree.pdf>>.

- CRD [Chemical Risks Directorate], 1998. *Checklist Hydrogen Fluoride* [en línea]. CRC/CL/007, ver. 1.0. Bruselas: Federal Ministry of Labour and Employment. [Consultado 6 junio 2003]. Disponible en <http://meta.fgov.be/pa/ena_index.htm>.
- CRD, 2002. *Metatechnical Evaluation System Manual* [en línea]. Segunda versión. Bruselas: Federal Ministry of Employment and Labour. [Consultado 5 mayo 2003]. Disponible en <<http://meta.fgov.be/pdf/pm/enm02.pdf>>.
- CROWL, D.A. y J.F. LOUVAR, 1990. *Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- CSB [Chemical Safety and Hazard Investigation Board], 1998a. *Investigation Report. Chemical Manufacturing Incident* [en línea]. 1998-06-I-NJ. Washington: United States Chemical Safety and Hazard Investigation Board. [Consultado 10 septiembre 2003]. En <http://www.csb.gov/completed_investigations/docs/MortonInvestigationReport.pdf>.
- CSB, 1998b. *Investigation Report. Propane Tank Explosion* [en línea]. 98-007-I-IA. Washington: U. S. Chemical Safety and Hazard Investig. Board. [Consultado 2 mayo 2003]. En <http://www.csb.gov/completed_investigations/docs/Final%20Herrig.pdf>.
- CSB, 2003. *Investigation Report. Chlorine Release. DPC Enterprises, L.P.* [en línea]. Report No. 2002-04-I-MO. Washington: United States Chemical Safety and Hazard Investigation Board. [Consultado 28 noviembre 2003]. Disponible en: <http://www.csb.gov/completed_investigations/docs/DPC-IR_053003.pdf>.
- CTEF [Comité Technique Européen du Fluor], 1993. *A safety visit scheme at HF customers plant*. STS 92/85. Bruselas: Comité Technique Européen du Fluor.
- DCRC [Division du Contrôle des Risques Chimiques], 2004a. *Checklist. Phenol* [en línea]. CRC/CL/0011-F, ver. 1.0. Bruselas: SPF Emploi, Travail et Concertation sociale. [Consultado 26 abril 2003]. Disponible en <http://meta.fgov.be/pa/ena_index.htm>.
- DGPC [Dirección General de Protección Civil], 1994a. *Guía Técnica. Metodologías para el análisis de riesgos. Visión general*. Madrid: Ministerio del Interior. Disponible en <http://www.proteccioncivil.org/centrodoc/guiatec/vision_general/indice_metodologia.htm>.
- DGPC, 1994b. *Guía Técnica. Métodos cualitativos para el análisis de riesgos*. Madrid: Ministerio del Interior. Disponible en <http://www.proteccioncivil.org/centrodoc/guiatec/metodos_cualitativos/indice_cualitativos.htm>.
- DGPC, 1994c. *Guía Técnica. Métodos cuantitativos para el análisis de riesgos*. Madrid: Ministerio del Interior. Disponible en <http://www.proteccioncivil.org/centrodoc/guiatec/metodos_cuantitativos/indice_cuantitativos.htm>.
- DGPC, 2003. *Guía para la realización de inspecciones Técnicas Administrativas (en el ámbito del Real Decreto 1254/99 [Seveso II])*. Madrid: Ministerio del Interior. Disponible en <http://www.proteccioncivil.org/peq/guita/guiatec_ita.pdf>.
- DOE [Department of Energy], 1993. *Example Process Hazard Analysis of a Department of Energy Water Chlorination Process* [en línea]. DOE/EH-0340. Washington: United States Department of Energy. [Consultado 30 enero 2003]. Disponible en <http://tis-hq.eh.doe.gov/chem_safety/pdfs/cover_contents.pdf>.
- DOE, 1996. *DOE Handbook 1100-96. Chemical Process Hazards Analysis* [en línea]. Washington: United States Department of Energy. [Consultado 17 septiembre 2003]. Disponible en <<http://www.tis.eh.doe.gov/techstds/standard/hdbk1100>>.

- DOWELL, A.M. y D.C. HENDERSHOT, 2002. *Simplified Risk Analysis –Layer of Protection Analysis (LOPA)*. Paper 281a. American Institute of Chemical Engineers. 2002 National Meeting. Indianapolis, IN. Nov. 3-8, 2002.
- DRC [Direction Risques Chimiques], 1996a. *Check-list Chlore* [en línea]. CRC/CL/003-F, ver. 1.1. Bruselas. Ministère de l'Emploi et du Travail. [Consultado 27 enero 2003]. Disponible en <<http://meta.fgov.be/pdf/pm/frm14.pdf>>.
- DRC, 1996b. *Zonage. Manuel pour l'établissement d'un dossier de zonage* [en línea]. CRC/IN/005-F, ver. 1.0. Bruselas. Ministère de l'Emploi et du Travail. [Consultado 27 noviembre 2003]. Disponible en <<http://meta.fgov.be/pdf/pm/frm09.pdf>>.
- DRC, 1997a. *Check-list Entrepôt* [en línea]. CRC/CL/004-F, ver. 1.2. Bruselas: Ministère Fédéral de l'Emploi et du Travail. [Consultado 27 abril 2002]. Disponible en <<http://meta.fgov.be/pdf/frm.pdf>>.
- DRC, 1997b. *Check-list LPG* [en línea]. CRC/CL/005-F, ver. 2.0. Bruselas: Ministère de l'Emploi et du Travail. [Consultado 26 noviembre 2003]. Disponible en <<http://meta.fgov.be/pdf/pm/frm16.pdf>>.
- DRC, 2000. *Check-list. Stockage atmosphérique de liquides inflammables* [en línea]. CRC/CL/008-F, ver. 2.0. Bruselas: Ministère Fédéral de l'Emploi et du Travail. [Consultado 4 junio 2003]. Disponible en <http://meta.fgov.be/pa/ena_index.htm>.
- DRC, 2002a. *Check-list. Ammoniac* [en línea]. CRC/CL/009-F, ver. 1.0. Bruselas: Ministère Fédéral de l'Emploi et du Travail. [Consultado 4 junio 2003]. Disponible en <<http://meta.fgov.be/pdf/pm/frm35.pdf>>.
- DRC, 2002b. *Check-list. Oxyde d'Éthylène* [en línea]. CRC/CL/002-F, ver. 1.0. Bruselas: Ministère Fédéral de l'Emploi et du Travail. [Consultado 22 enero 2003]. Disponible en <<http://meta.fgov.be/pdf/pm/frm29.pdf>>.
- DRC, 2003a. *Checklist. Gaz Combustibles Liquéfiés* [en línea]. CRC/CL/010-F, ver. 1.0. Bruselas: SPF Emploi, Travail et Concertation sociale. [Consultado 16 junio 2003]. Disponible en <<http://meta.fgov.be/pdf/pm/frm38.pdf>>.
- DRC, 2003b. *Checklist. Hydrogène* [en línea]. CRC/CL/014-F, ver. 1.0. Bruselas: SPF Emploi, Travail et Concertation sociale. [Consultado 30 octubre 2003]. Disponible en <<http://meta.fgov.be/pdf/pm/frm40.pdf>>.
- DRC, 2003c. *PLANOP. Méthologie por l'exécution d'analyses des libérations* [en línea]. Bruselas: SPF Emploi, Travail et Concertation sociale. [Consultado 4 octubre 2003]. Disponible en <<http://meta.fgov.be/pdf/pm/frm36.pdf>>.
- FAWCET, H.H. y W.S. WOOD. 1965. *Safety and Accident Prevention in Chemical Operations*. Nueva York: John Wiley & Sons.
- FEWTRELL, P. e I.L. HIRST, 1998. A review of high-cost chemical/petrochemical accidents since Flixborough 1974. *IchemE Loss Prevention Bulletin*. 140, 1-12.
- HID [Hazardous Installations Directorate], 2004. *Safety Report Assessment Guidance (Technical Aspects). Case Studies* [en línea]. Londres: Health and safety Executive. [Consulta 2/2/2004]. En: <<http://www.hse.gov.uk/comah/sragtech/casestudyind.htm>>.
- HURST, N.W. 1998. *Risk Assessment: The Human Dimension*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry.
- IPCS [The International Programme on Chemical Safety], 2004. *Descriptions of selected key generic terms used in chemical hazard/risk assessment* [en línea].

- Nueva York: World Health Organization. [Consulta 2 febrero 2004]. Disponible en; <http://www.who.int/ipcs/publications/methods/harmonization/definitions_terms/en/>
- KIM, D. *et al.* 2003. Automatic generation of accident scenarios in domain specific chemical plants. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 16, 121-132.
- KLEINDORFER, P.R. y H.C. KUNREUTHER (eds.), 1987. *Insuring and Managing Hazardous Risks: From Seveso to Bhopal and Beyond*. Institute for Applied Systems Analysis. Berlin: Springer-Verlag.
- KLETZ, T.A. 1988. *Learning from Accidents in Industry*. Londres: Butterworths.
- KLETZ, T.A. 1990. *Critical Aspects of Safety and Loss Prevention*. Oxford: Butterworths.
- KLETZ, T.A. 1992. *Hazop and Hazan. Identifying and Assessing Process Industry Hazards*. Rugby: The Institution of Chemical Engineers.
- KLETZ, T.A. 2003. Equipment that cannot do what we want it to do. *Journal of Hazardous Materials*. 104, 95-105.
- KOLLER, G., U. FISCHER y K. HUNGERBÜHLER, 2000. Assessing Safety, Health and Environmental Impact Early during Process Development. *Ind. Eng. Chem. Res.* 39, 960-972.
- LEES, F.P. 2001. *Loss Prevention in the Process Industries*. 2ª ed. reimpressa con correcciones. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- LLNL [Lawrence Livermore National Laboratory], 2000. *EH & S Manual. Environment, Safety and Health* [en línea]. Actualizado a 1 de abril 2001. United States Department of Energy. *Document 14.6; Safe Handling of Fluorine*. [Consultado 7 junio 2003]. Disponible en http://www.llnl.gov/es_and_h/hdm/doc_14.06/doc14-06.html
- MÉNDEZ BERNAL, B. 1994a. *NTP 356: Condiciones de seguridad en la carga y descarga de camiones cisterna: líquidos inflamables (I)* [en línea]. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. [Consultado 9 mayo 2003]. Disponible en <http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_356.htm>.
- MÉNDEZ BERNAL, B. 1994b. *NTP 357: Condiciones de seguridad en la carga y descarga de camiones cisterna: líquidos inflamables (II)* [en línea]. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. [Consultado 9 mayo 2003]. Disponible en <http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_357.htm>.
- MÉNDEZ BERNAL, B. 1995a. *NTP 374: Electricidad estática: carga y descarga de camiones cisterna (I)* [en línea]. Madrid: Inst. Nac. de Seg. e Higiene en el Trabajo. [Consultado 8 mayo 2003]. Disponible en <http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_374.htm>.
- MÉNDEZ BERNAL, B. 1995b. *NTP 375: Electricidad estática: carga y descarga de camiones cisterna (II)* [en línea]. Madrid: Inst. Nac. de Seg. e Higiene en el Trabajo. [Consultado 8 mayo 2003]. Disponible en <http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_375.htm>.
- MICHISON, N., GARCÉS DE MARCILLA, A. y SMEDER, B., eds. 1999. *Accident Scenarios and Emergency Response*, Toledo, october 1995. Luxembourg: Institute for Systems Informatics and Safety. Joint Research Centre. European Commission.

- NJDEP [New Jersey Department of Environmental Protection], 1999. *Toxic Catastrophe Prevention Act (TCPA) Program. TCPA Audit Checklist* [en línea]. New Jersey, NJ: N. J. Department of Environmental Protection. [Consultado 27 marzo 2003]. Disponible en <<http://www.state.nj.us/dep/enforcement/relprev/tcpa/rmpcheck.htm>>.
- ORDEN de 16 de abril de 1998 (Ministerio de Industria y Energía) sobre normas de procedimiento y desarrollo del Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios y se revisa el anexo I y los apéndices del mismo. *BOE* 101, 28 abril 1998, 14109.
- PAPADAKIS, G.A. y S. PORTER (Eds.), 1999. *Guidance on Inspections as required by article 18 of the Council Directive 96/82/EC (Seveso II)*. Institute for Systems Informatics and Safety. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- PAPAZOGLU, I.A. y O.N. ANEZIRIS, 2003. Master Logic Diagram: method for hazard and initiating event identification in process plants. *Journal of Hazardous Materials*. A97, 11-30.
- PARRY, S.T. 1986. *A review of hazard identification techniques and their application to major accident hazards*. Culcheth Warrington, UK: Safety and Reliability Directorate.
- PIQUÉ ARDANUY, T. 1993. *NTP 324: Cuestionario de chequeo para el control de riesgos de accidente* [en línea]. Madrid: Inst. Nac. de Seguridad e Higiene en el Trabajo. [Consultado 8 mayo 2003]. Disponible en <http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_324.htm>.
- RAUSAND, M. 2003. *Event Tree Analysis* [en línea]. Trondheim, Noruega: Norwegian University of Science and Technology. [Consultado 28 noviembre 2003]. Disponible en: <<http://plato.ivt.ntnu.no/emner/TPK4120/filer/1062588227-Eventtree.pdf>>.
- REAL DECRETO 1942/1993, de 5 de noviembre (Ministerio de Industria y Energía), por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Protección contra incendios. *BOE* 298, 14 diciembre 1993, 35159.
- REAL DECRETO 2085/1994, de 20 de octubre (Ministerio de Industria y Energía), por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Petrolíferas. *BOE* 23, 27 enero 1995, 2591.
- REAL DECRETO 400/1996, de 1 de marzo (Ministerio de Industria y Energía), por el que se dicta las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo 94/9/CE, relativa a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas. *BOE* 85, 8 abril 1996, 12903.
- REAL DECRETO 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. *BOE* 97, 24 abril 1997, 12911.
- REAL DECRETO 1562/1998, de 17 de julio (Ministerio de Industria y Energía), por el que se modifica la Instrucción Técnica Complementaria MI-IP02 "Parques de almacenamiento de líquidos petrolíferos". *BOE* 189, 8 agosto 1998, 27124.
- REAL DECRETO 1254/1999, de 16 de julio (Ministerio de la Presidencia), por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas. *BOE* 172, 20 julio 1999, 27167.

- REAL DECRETO 1523/1999, de 1 de octubre (Ministerio de Industria y Energía) por el que se modifica el Reglamento de instalaciones petrolíferas, aprobado por Real Decreto 2085/1994, de 20 de octubre, y las instrucciones técnicas complementarias MI-IP03, aprobada por Real Decreto 1427/1997, de 15 de septiembre, y MI-IP04, aprobada por Real Decreto 2201/1995, de 28 de diciembre. *BOE* 253, 22 octubre 1999, 37164.
- REAL DECRETO 842/2002, de 2 de agosto (Ministerio de Ciencia y Tecnología) por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión. *BOE* 224, 18 septiembre 2002, 33084.
- REAL DECRETO 681/2003, de 12 de junio (Ministerio de la Presidencia), sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo. *BOE* 145, 18 junio 2003, 23341.
- REAL DECRETO 1196/2003, de 19 de septiembre (Ministerio del Interior), por el que se aprueba la Directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas. *BOE* 242, 9 octubre 2003, 36428.
- RUIZ GIMENO, J. y F. J. RUIZ BOADA (Coordinadores), 2004. *Casos prácticos de análisis del riesgo (establecimientos de nivel inferior de afectación en el ámbito del Real Decreto 1254/1999)*. Murcia: Universidad de Murcia. Servicio de Publicaciones. Madrid: Dirección General de Protección Civil y Emergencias. Ministerio del Interior.
- SANTAMARÍA RAMIRO, J. M. y P. A. BRAÑA AÍSA, 1994. *Análisis y reducción de riesgos en la industria química*. Madrid: MAPFRE.
- STORCH DE GRACIA Y ASENSIO, J. M. 1998. *Manual de Seguridad Industrial en Plantas Químicas y Petroleras. Fundamentos, Evaluación de riesgos y Diseño*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana.
- TAMBORERO DEL PINO, J.M. 1997. *NTP 460: Mantenimiento preventivo de las instalaciones peligrosas* [en línea]. Madrid: Inst. Nac. de Seg. e Higiene en el Trabajo. [Consultado 7 mayo 2003]. Disponible en <http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_460.htm>.
- TURMO SIERRA, E. 2001. *NTP 567: Protección frente a cargas electrostáticas* [en línea]. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. [Consultado 6 mayo 2003]. Disponible en <http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_567.htm>.
- UNE-EN ISO 9000:2000. *Sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario*. Madrid: AENOR.
- UOF [University of Florida], 2001a. *Process Improvement Engineering. Fire protection Checklist* [en línea]. Gainesville, FL: University of Florida. [Consultado 6 mayo 2003]. Disponible en <http://pie.che.ufl.edu/guides/safety_health/fire_checklist.html>.
- UOF, 2001b. *Process Improvement Engineering. Process Safety Review Checklist* [en línea]. Gainesville, FL: University of Florida. [Consultado 6 mayo 2003]. Disponible en <http://pie.che.ufl.edu/guides/hazop/process_checklist.html>.
- USCG [U.S. Coast Guard], 2003a. *Risk-based Decision-making Guidelines* [en línea]. 3ª ed. Washington: United States Coast Guard. [Consultado 24 febrero 2004]. *Vol.*

- 3 Procedures for Assessing Risks. Chap. 4 – Checklist Analysis*. Disponible en <<http://www.uscg.mil/hq/gm/risk/E-Guidelines/RDBMGuide.htm>>.
- USCG [U.S. Coast Guard], 2003b. *Risk-based Decision-making Guidelines* [en línea]. 3ª ed. Washington: United States Coast Guard. [Consultado 24 febrero 2004]. *Vol. 3 Procedures for Assessing Risks. Chap. 12 – Event Tree Analysis*. Disponible en <<http://www.uscg.mil/hq/gm/risk/E-Guidelines/RDBMGuide.htm>>.
- WDE [Washington Department of Ecology], 2003. *Underground Storage Tank. Cathodic protection Checklist* [en línea]. Rev. junio 2003. Washington: Washington Department of Ecology. [Consultado 17 diciembre 2003]. Disponible en <<http://www.ecy.wa.gov/biblio/ecy07070.html>>.

Índice de tablas

Tabla 1.1	Comparación de requisitos aplicables a E_7 y E_9	16
Tabla 1.2	Contenido del análisis del riesgo para los establecimientos E_7	20
Tabla 1.3	Clasificación de los métodos de análisis de peligros según su utilidad	22
Tabla 1.4	Clasificación de los métodos de análisis de peligros según su naturaleza	23
Tabla 1.5	Relación de elementos incluidos en los criterios favorables elegidos ..	28
Tabla 2.1	Lista de comprobación del cloro (parcial)	44
Tabla 2.2	Identificación de aspectos de riesgo en la instalación de cloro	45
Tabla 2.3	Asignación de aspectos de riesgo a los elementos del modelo de accidentes	47
Tabla 2.4	Parte 1 del Anexo I del Real Decreto 1254/1999 (parcial)	51
Tabla 2.5	Descripción de los tanques de almacenamiento	52
Tabla 2.6	Identificación y clasificación de aspectos de riesgo	55
Tabla 2.7	Resto de elementos del modelo	58
Tabla 2.8	Secuencias y resultados de los escenarios del árbol de la figura 2.5 ...	61
Tabla 2.9	Secuencias y resultados de los escenarios del árbol de la figura 2.6 ...	64
Tabla 3.1	Clasificación adecuada para una industria de proceso químico	72
Tabla 3.2	Subdivisión de la “Elección, situación y distribución del emplazamiento	73
Tabla 3.3	Grupos en la lista de comprobación de instalaciones de consumo de HF	73
Tabla 3.4	Listas de comprobación específicas	75
Tabla 3.5	Diferenciación entre conceptos del modelo de accidentes	79
Tabla 3.6	Duración del proceso de aplicación de una lista de comprobación	82
Tabla 4.1	Estimación del tiempo necesario para un análisis con árboles de sucesos	90
Tabla 4.2	Datos de partida para la cuantificación del árbol de la figura 4.2	99
Tabla 4.3	Resultados y frecuencias del árbol de sucesos de la figura 4.2	99

Índice de figuras

Figura 1.1	Procedimiento para llevar a cabo una evaluación de riesgos	12
Figura 2.1	Escenarios de accidentes industriales	33
Figura 2.2	Vértice del árbol de fallos del modelo <i>M.O.R.T.</i>	34
Figura 2.3	Esquema del proceso de un accidente industrial	36
Figura 2.4	Árbol de sucesos para el accidente ejemplificado	49
Figura 2.5	Árbol de sucesos en ausencia de ignición	60
Figura 2.6	Árbol de sucesos en presencia de ignición	63
Figura 3.1	Formato de la lista de comprobación que se propone en esta Guía	74
Figura 4.1	Esquema del proceso de análisis del árbol de sucesos	93
Figura 4.2	Ejemplo de un árbol de sucesos simple	96
Figura 4.3	Ejemplo de árbol de sucesos previo a un potencial accidente	102
Figura 4.4	Ejemplo de árbol de sucesos posterior a un accidente	102
Figura 4.5	Concepto del análisis de las capas de protección	104
Figura 4.6	Relación entre el análisis de las capas de protección y el árbol de sucesos	106
Figura 4.7	Aplicación del árbol de sucesos a los análisis de la fiabilidad humana	107