# control de riesgos de accidentes mayores

## manual práctico

Contribución de la OIT al
Programa Internacional PNUMA/OIT/OMS de
Seguridad en las Sustancias Químicas (IPCS)

Oficina Internacional del Trabajo Ginebra

Copyright © Organización Internacional del Trabajo 1990

Las publicaciones de la Oficina Internacional del Trabajo gozan de la protección de los derechos de propiedad intelectual en virtud del protocolo 2 anexo a la Convención Universal sobre Derecho de Autor. No obstante, ciertos extractos breves de estas publicaciones pueden reproducirse sin autorización, a condición de que se mencione la fuente. Para obtener los derechos de reproducción o de traducción hay que formular las correspondientes solicitudes al Servicio de Publicaciones (Derechos de autor y licencias), Oficina Internacional del Trabajo, CH-1211 Ginebra 22, Suiza, solicitudes que serán bien acogidas.

ISBN 92-2-306432-5

*Primera edición 1990*

Título de la edición original en inglés:
*Major hazard control: A practical manual* (ISBN 92-2-106432-8), Ginebra, 1988.

Los derechos de autor de los documentos HS/6 28, HS/6 30 y HS/6 34 de las páginas 131–257 pertenecen a la Corona Británica. Traducido y publicado con la autorización del Controller of Her Britannic Majesty's Stationery Office.

HS/6 28, HS/6 30, HS/6 34 on pages 131–257 are British Crown copyright. Translated and published by permission of the Controller of Her Britannic Majesty's Stationery Office.

Las denominaciones empleadas, en concordancia con la práctica seguida en las Naciones Unidas, y la forma en que aparecen presentados los datos en las publicaciones de la OIT no implican juicio alguno por parte de la Oficina Internacional del Trabajo sobre la condición jurídica de ninguno de los países, zonas o territorios citados o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras.

La responsabilidad de las opiniones expresadas en los artículos, estudios y otras colaboraciones firmados incumbe exclusivamente a sus autores, y su publicación no significa que la OIT las sancione.

Las referencias a firmas o a procesos o productos comerciales no implican aprobación alguna por la Oficina Internacional del Trabajo, y el hecho de que no se mencionen firmas o procesos o productos comerciales no implica desaprobación alguna.

La OIT no asume ninguna responsabilidad por el uso que pueda hacerse del contenido de este manual.

Las publicaciones de la OIT pueden obtenerse en las principales librerías o en oficinas locales de la OIT en muchos países o pidiéndolas a: Publicaciones de la OIT, Oficina Internacional del Trabajo, CH-1211 Ginebra 22, Suiza, que también puede enviar a quienes lo soliciten un catálogo o una lista de nuevas publicaciones.

Impreso en Suiza BDV

# Prefacio

Los incendios, las explosiones y la liberación de gases tóxicos pueden causar la muerte o lesiones a trabajadores y otros ciudadanos, provocar la evacuación de comunidades enteras y afectar desfavorablemente al medio ambiente en general. Desastres que se conocen con nombres propios como «Basilea», «Bhopal», «Flixborough», «México D.F.» y «Seveso» han dado origen a las expresiones «riesgos mayores» y «control de riesgos de accidentes mayores»; la prevención y la lucha contra los riesgos principales han pasado posteriormente a ser una cuestión apremiante en todas las partes del mundo. El presente manual sobre el control de riesgos de accidentes mayores es una respuesta al debate público acerca de cómo prevenir los accidentes más graves. Su preparación la recomendó una reunión *ad hoc* tripartita de consultores especiales convocada por la Oficina Internacional del Trabajo en 1985, después del grave accidente de Bhopal.

Las posibilidades potenciales de que se produzca un accidente importante debido al aumento de la producción, el almacenamiento y el empleo de sustancias peligrosas implican la necesidad de un enfoque bien determinado y sistemático, si se quieren evitar grandes catástrofes. Por tanto, el presente manual está concebido para abordar los aspectos de la seguridad del emplazamiento, la planificación, el diseño, la construcción y el funcionamiento de las plantas. Se explica la manera de determinar las instalaciones que presentan mayores riesgos y se describen todos los componentes de un sistema de control de los riesgos de accidentes mayores. Debido a los potenciales efectos adversos de los accidentes graves en los trabajadores y en la comunidad, se proporciona amplia información sobre la planificación para casos de emergencia, tanto en el lugar donde se producen como en las zonas circundantes.

La aplicación diaria de las prácticas de seguridad e higiene forma parte del funcionamiento normal de las fábricas y, en consecuencia, no está incluida en el presente manual. Tampoco se tienen en cuenta los riesgos relacionados con las actividades de la industria nacional y con el transporte nacional e internacional de mercancías peligrosas, dado que la ordenación y la regulación legislativa de esas actividades suelen tratarse por separado.

El manual tiene por objeto ayudar a todos los países que están examinando la conveniencia de establecer un sistema de control de los principales riesgos. El sistema descrito es aplicable en los países donde ciertos aspectos de la prevención y lucha contra los riesgos principales ya se tienen en cuenta y en los países que tengan intención de establecer por primera vez un programa para controlar los riesgos más graves. En particular, este manual resultará indispensable para los cuerpos de inspección de las fábricas, las direcciones de las instalaciones que presentan mayores riesgos, los sindicatos y las autoridades locales, así como la policía, los servicios de bomberos y los puestos de socorro.

Este libro es el resultado de un trabajo de la OIT en colaboración con varios expertos. La Oficina desea expresar su agradecimiento a los siguientes consultores: ingeniero D. Hesel, TÜV Rheinland, República Federal de Alemania; Sr. C. A. W. A. Husman, Dirección General de Trabajo, Ministerio de Asuntos Sociales y Empleo, Países Bajos; y Sr. A. F. Ellis, Reino Unido, en su calidad de experto de la OIT en la esfera de la prevención de los riesgos principales.

G. R. Kliesch,

*Director*
*Departamento de Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo*

# Alcance del estudio

En el presente manual se señalan y examinan los diversos componentes de control de los riesgos de accidentes mayores. El manual está concebido particularmente para los países que examinan la conveniencia de establecer medidas de control por primera vez. Sin embargo, podrá resultar útil para muchos otros países en donde se realizan trabajos que entrañan un grave riesgo y en los que ya se está aplicando en cierta medida un sistema de prevención y lucha contra los riesgos principales, aunque no esté todavía constituido por el conjunto completo de medidas que forman actualmente parte de la legislación promulgada por la Comisión de las Comunidades Europeas.

En el manual se reconoce que el establecimiento de un control de los riesgos suele ser resultado de distintos métodos graduales y se indican las prioridades para lograr progresos de conformidad con esta política.

Esas prioridades requerirán la participación de las autoridades estatales y de los cuerpos de inspección de las fábricas, tanto centrales como locales, las direcciones de las explotaciones y los sindicatos, además de las diversas organizaciones que pueden estar relacionadas con los planes de emergencia, tales como la policía, los servicios de bomberos, los hospitales, etc.

# Indice

**Prefacio** v

**Alcance del estudio** vii

**1. Introducción** 1

1.1 Riesgos industriales graves 1

1.2 Tipos y consecuencias de riesgos industriales graves 1

1.2.1 Explosiones 2

1.2.1.1 Deflagración y detonación 2

1.2.1.2 Explosiones de gases y de polvos 3

1.2.1.3 Explosiones de nubes de vapor confinado o no confinado 3

1.2.2 Incendios 3

1.2.2.1 Explosión de un líquido en ebullición con desprendimiento de vapores en expansión 4

1.2.3 Escape de gases tóxicos 4

1.3 Componentes de un sistema de control de riesgos de accidentes mayores 5

1.4 Exclusiones 6

**2. Determinación de las instalaciones que implican riesgos de accidentes mayores** 7

2.1 Propósito y procedimientos de determinación 7

2.2 Instalaciones que implican un riesgo de accidente mayor con arreglo a la Directiva de la CEE 7

2.3 Campo de actuación con respecto a las prioridades 8

2.4 Instalaciones que presentan los riesgos mayores típicos 9

**3. El papel de la dirección** 11

3.1 Evaluación de los riesgos 12

3.1.1 Métodos de evaluación del riesgo 12

3.1.1.1 Análisis preliminar del riesgo (APR) 12

3.1.1.2 Estudio del riesgo y de la capacidad de funcionamiento (RYCF) 13

3.1.1.3 Otros métodos de evaluación 15

3.1.1.4 Análisis de las consecuencias de los accidentes 15

3.2 Causas de los riesgos industriales graves 15

3.2.1 Fallos de los componentes 15

3.2.2 Desviaciones de las condiciones normales de funcionamiento 16

3.2.3 Errores humanos y organizativos 16

3.2.4 Interferencias externas accidentales 16

3.2.5 Fuerzas naturales 17

3.2.6 Actos de sabotaje u otros actos que causan daños 17

3.2.7 Deficiencias adicionales 17

3.3 Funcionamiento seguro de las instalaciones que presentan alto riesgo 17

3.3.1 Diseños de los componentes de la planta 17

3.3.2 Funcionamiento y control 17

3.3.3 Sistemas de seguridad 19

3.3.3.1 Sistemas para prevenir la desviación de condiciones de funcionamiento permisibles 19

3.3.3.2 Sistemas que evitan el fallo de los componentes relacionados con la seguridad 19

3.3.3.3 Servicios 19

3.3.3.4 Sistemas de alarma 19

3.3.3.5 Medidas de protección técnicas 19

3.3.3.6 Medidas de mitigación 20

3.3.3.7 Prevención de los errores humanos y de organización 20

3.3.4 Mantenimiento y vigilancia 20

3.3.5 Inspección y reparación 20

3.3.6 Capacitación 20

3.4 Mitigación de las consecuencias 21

3.5 Presentación de informes a las autoridades 21

3.5.1 Finalidad de la presentación de informes 21

3.5.2 Contenido de los informes que se han de presentar a las autoridades 22

3.5.2.1 Identificación 22

3.5.2.2 El informe sobre seguridad 22

3.5.2.3 Comunicación de los accidentes 24

3.5.3 Actualización de los informes 25

**4. Función de las autoridades** 27

4.1 Establecimiento de un inventario de las instalaciones que presentan alto riesgo 27

4.2 Recepción y examen de los informes sobre seguridad 27

4.3 Mitigación de las consecuencias 27

4.4 Otras funciones 27

4.4.1 Fijación del emplazamiento 27

4.4.2 Introducción de un programa de inspección 28

**5. Papel de los trabajadores y de las organizaciones de trabajadores** 29

5.1 Papel de los trabajadores 29

5.2 Papel de las organizaciones de trabajadores 29

**6. Planificación de emergencia** 31

6.1 Introducción 31

6.1.1 Definición 31

6.1.2 Alcance 31

6.1.3 Objetivos 31

6.1.4 Determinación y evaluación de los riesgos 31

6.2 Planificación de emergencia *in situ* 33

6.2.1 Formulación del plan y de los servicios de emergencia 33

6.2.2 Mecanismo de alarma y comunicación 34

6.2.3 Nombramiento del personal y definición de sus deberes 34

6.2.4 Centros de control de la emergencia 35

6.2.5 Medidas que se han de adoptar en el lugar 36

6.2.6 Planificación de los procedimientos de cierre 37

6.2.7 Ensayo de los procedimientos de emergencia 37

6.2.8 Evaluación y actualización del plan 37

6.3 Planificación de emergencia fuera del emplazamiento 37

6.3.1 Introducción 37

6.3.2 Aspectos que se han de incluir en un plan de emergencia para fuera del emplazamiento 38

6.3.3 Función del coordinador de la emergencia 39

6.3.4 Función de los directores de fábricas que entrañan alto riesgo 39

6.3.5 Función de las autoridades locales 39

6.3.6 Función de la policía 40

6.3.7 Función de las autoridades encargadas de la lucha contra incendios 40

6.3.8 Función de las autoridades sanitarias 40

6.3.9 Función de las autoridades estatales de seguridad 40

6.4 Ensayos y ejercicios en la planificación de emergencia fuera del emplazamiento 41

**7. Aplicación de los sistemas de control de riesgos de accidentes mayores** 43

7.1 Introducción 43

7.2 Determinación de riesgos de accidentes mayores 43

7.3 Establecimiento de prioridades 43

7.3.1 Creación de un grupo de expertos 43

7.3.2 Planificación de emergencia en el lugar 44

7.3.3 Planificación de emergencia fuera del lugar 44

7.3.4 Fijación del emplazamiento 45

7.3.5 Capacitación de los inspectores de fábrica 45

7.3.6 Preparación de listas de verificación 46

7.3.7 Inspección de las instalaciones por los inspectores de fábrica 46

7.3.8 Inspección de los lugares de trabajo por especialistas 47

7.3.9 Evaluación de los riesgos principales 47

7.3.10 Medidas derivadas de la evaluación 48

7.3.11 Información al público 48

**8. Requisitos previos de un sistema de control de riesgos de accidentes mayores** 49

8.1 Necesidades de personal 49

8.2 Equipo 49

8.3 Fuentes de información 49

**Bibliografía** 51

**Apéndices**

1. Lista de sustancias peligrosas y cantidades límites (extraída del anexo III de la Directiva del Consejo de las Comunidades Europeas (82/501/CEE)) 53
2. *a)* Ejemplo de un método rápido de clasificación de las unidades/elementos de la planta 59

   *b)* Cifras relativas a los riesgos de accidentes y factores materiales derivados de los datos de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios de los Estados Unidos (NFPA) 69
3. Guía de los estudios de riesgos de accidente derivados del mal funcionamiento 75
4. Método de calcular las consecuencias 121
5. *a)* El almacenamiento de GLP en instalaciones fijas 131

   *b)* Asesoramiento en materia de seguridad relativo a las instalaciones de cloro a granel 175

   *c)* Almacenamiento de amoníaco anhidro bajo presión en el Reino Unido 227
6. Ejemplo de un informe sobre seguridad 259
7. Ejemplo de formulario para comunicar accidentes (extraído del anexo VI de la Directiva de la CE (82/501 CEE)) 297
8. Uso de la tierra cerca de fábricas que entrañen riesgos de accidentes mayores 301

## Figuras

1. El papel de la dirección en los sistemas de control de riesgos de accidentes mayores 11
2. Ejemplo de un diagrama de fabricación 14
3. Esquema del funcionamiento de los dispositivos de seguridad 18

## Cuadros

1. Ejemplos de explosiones industriales 3
2. Ejemplos de incendios importantes 4
3. Ejemplos de escapes importantes de sustancias tóxicas 5
4. Criterios de la Directiva de la CEE con respecto a las instalaciones que presentan riesgos de accidentes mayores 8
5. Sustancias químicas que se utilizan prioritariamente para determinar las instalaciones con riesgos de accidentes mayores 8
6. Métodos de trabajo relacionados con la evaluación del riesgo de accidente 12
7. Análisis preliminar del riesgo de accidente en una planta de almacenamiento de gas licuado de petróleo 13
8. Efectos de la sobrepresión causada por una explosión sobre estructuras 32
9. Efectos de las radiaciones térmicas sobre la piel no protegida 33
10. Efectos de las concentraciones de gas de cloro sobre las personas 33

## Lista de abreviaturas

APR = análisis preliminar del riesgo

BTV = unidad calorífica británica

CMA = concentración máxima admisible

ELEEV = explosión de líquido en ebullición que expande vapor

GLP = gas licuado de petróleo

GNL = gas natural licuado

HSE = *(Health and Safety Executive)* (Junta ejecutiva de seguridad e higiene, del Reino Unido)

IyE = índice de incendio y explosión

Kcal = kilocaloría

NFPA = *(National Fire Protection Association)* (Asociación Nacional de Protección contra Incendios, de los E.U.A.)

psi = libras por pulgada cuadrada

psig = libras manométricas por pulgada cuadrada

ppm = partes por millón

PTFE = politetrafluoretileno (teflón)

REP = riesgos especiales del proceso

RGP = riesgos generales del proceso

RYCF = (estudio sobre el) riesgo y la capacidad de funcionamiento

T = índice de toxicidad

te = equivalente en toneladas métricas

# 1. Introducción

El rápido aumento del empleo de sustancias químicas peligrosas en la industria y el comercio ha producido un considerable incremento del número de personas, tanto trabajadores como ciudadanos en general, cuya vida podría estar en peligro en cualquier momento debido a un accidente ocasionado por esas sustancias. El rápido ritmo de avance de la tecnología moderna da menos posibilidades de aprender por medio de pruebas sucesivas, lo que hace cada día más necesario que el diseño y los procedimientos de explotación sean correctos desde el principio. Sin embargo, en la industria química las salvaguardias no se limitan a los talleres de la fábrica. La preocupación pública por las múltiples lesiones y muertes que causan accidentes espectaculares como una gran explosión invariablemente dan origen a peticiones de una mayor prevención y regulación en los planos nacional e internacional. Por consiguiente, en particular con respecto a proyectos que entrañan el almacenamiento y uso de sustancias químicas peligrosas, conviene abordar el problema de la seguridad en el lugar mismo y fuera del lugar al decidir qué medidas de seguridad se han de aplicar.

En el presente capítulo se examinan la definición de los riesgos industriales graves, sus tipos y consecuencias y los componentes de sus sistemas de control. Se mencionan asimismo los tipos de actividades industriales que han quedado excluidos del alcance de este manual.

## 1.1. Riesgos industriales graves

En octubre de 1987 hubo que evacuar en Francia a 60 000 personas como resultado de un incendio que se extendió a nitrato amónico. En abril de 1987 un incendio de metano causó la muerte de cuatro personas e hirió a otra en Italia. En Bulgaria una explosión de cloruro de vinilo provocó la muerte de 17 personas y 19 heridos en noviembre de 1986. Una explosión de productos pirotécnicos mató a 11 personas e hirió a ocho en Filipinas en el mes de abril de 1986. En febrero de 1986 un escape de cloro que se produjo en los Estados Unidos lesionó a 76 personas. Estos casos son sólo una muestra de accidentes conocidos en fechas recientes.

Cabe también citar acontecimientos más desastrosos. Entre ellos, la emisión de la sustancia química isocianato de metilo en Bhopal, India, en 1984, que provocó más de 2 000 muertes y 200 000 heridos. Dos semanas antes se había producido una explosión de gas natural en México, D.F. que ocasionó la muerte de 650 personas y heridas a varios miles. Una explosión de gas propano en Ortuella, España, provocó asimismo 51 muertes y numerosos heridos en 1980. En 1976, 30 personas resultaron heridas y 220 000 tuvieron que ser evacuadas de varias aldeas cuando el mal funcionamiento de un proceso ocasionó un pequeño escape de la sustancia química dioxina en Seveso, Italia. Una explosión de ciclohexano que se produjo en Flixborough, Reino Unido, en 1974 causó la muerte de 28 personas e hirió a 89. Los daños económicos resultantes de todos estos accidentes y de muchos otros son descomunales.

Aunque estos casos pueden haber sido distintos por la forma en que se produjeron y las sustancias químicas que intervinieron en ellos, todos comparten una característica común: fueron acontecimientos no controlados, constituidos por incendios, explosiones o escapes de sustancias tóxicas que ocasionaron la muerte o lesiones de un gran número de personas dentro y fuera de la fábrica, causaron amplios daños en los bienes y el medio ambiente, o produjeron ambos efectos. El almacenamiento y la utilización de sustancias químicas inflamables, explosivas o tóxicas que pueden causar esos desastres se suelen designar como riesgos de accidentes mayores. Por tanto, este riesgo potencial depende del carácter inherente de la sustancia química y de la cantidad acumulada en el lugar.

En estos últimos años se han consagrado muchos esfuerzos a la elaboración de una legislación para regular los riesgos principales. La más destacada es la de la Comisión de las Comunidades Europeas (CCE), que en 1982 promulgó una Directiva sobre los principales riesgos de accidente de ciertas actividades industriales. Según la definición de esa Directiva, la expresión «accidente principal» significa «un acontecimiento, como una emisión importante, un incendio o una explosión, resultante de hechos no controlados en el curso de una actividad industrial, que provoca un peligro grave para el hombre, inmediato o aplazado, dentro o fuera del establecimiento, y para el medio ambiente, y que entraña una o más sustancias peligrosas».

## 1.2. Tipos y consecuencias de riesgos industriales graves

Los riesgos industriales graves suelen estar relacionados con la posibilidad de incendio, explosión o dispersión de sustancias químicas tóxicas, y por lo general entrañan el escape de material de un recipiente, seguido, en el caso de sustancias volátiles, de su

evaporación y dispersión. Entre los accidentes relacionados con los riesgos principales cabe mencionar los siguientes:

- escape de material inflamable, mezcla del material con el aire, formación de una nube de vapor inflamable y arrastre de la nube hasta una fuente de ignición, lo que provocará un incendio o una explosión que afectará al lugar y posiblemente a zonas pobladas;
- escape de material tóxico, formación de una nube de vapor tóxica y arrastre de la nube, lo que afectará directamente al lugar y posiblemente a zonas pobladas.

En el caso de la fuga de materiales inflamables, el mayor peligro proviene del repentino escape masivo de líquidos volátiles, o gases, que producen una gran nube de vapor inflamable y posiblemente explosivo (Comisión de Higiene y Seguridad del Reino Unido, 1976). Si la nube se llega a inflamar, los efectos de la combustión dependerán de múltiples factores, entre ellos la velocidad del viento y la medida en que la nube estaba diluida con aire. Esos riesgos pueden causar un gran número de víctimas e ingentes daños al lugar donde se producen y más allá de sus fronteras. Sin embargo, incluso en accidentes graves, los efectos se suelen limitar a unos pocos cientos de metros del punto donde se producen.

La fuga repentina de grandes cantidades de materiales tóxicos puede causar muertes y lesiones graves a una distancia mucho mayor. En teoría, esa fuga podría, en ciertas circunstancias climáticas, producir concentraciones letales a varios kilómetros del punto de fuga, pero el número efectivo de víctimas dependerá de la densidad demográfica en el camino que sigue la nube y de la eficacia de las medidas de emergencia que se tomen, que podrían incluir la evacuación.

Algunas instalaciones o grupos de instalaciones plantean ambos tipos de amenaza. Además, las ondas de expansión y los proyectiles de una explosión pueden afectar a la integridad de otras plantas que contengan materiales inflamables y tóxicos, causando de ese modo una intensificación del desastre, que a veces se designa con la expresión de «efecto dominó». Esta situación puede existir cuando se produce una agrupación de establecimientos industriales debido a la atracción de la energía, el agua o un conjunto de trabajadores adecuados. Esa agrupación puede facilitar la transferencia de suministros y productos de un lugar a otro. En realidad, no es infrecuente que existan tres o más instalaciones separadas, pero contiguas, que constituyen un conjunto de riesgos de explosión y tóxicos a lo largo de la orilla de un río, en un estuario o cerca de bloques de viviendas.

La fuga de materiales inflamables o tóxicos a la atmósfera puede, por tanto, provocar una explosión, un incendio o la formación de una nube tóxica, fenómenos que se examinan con más detalle a continuación.

### 1.2.1. Explosiones

Las explosiones se caracterizan por una onda de choque que puede producir un estallido y causar daños a los edificios, romper ventanas y arrojar materiales a varios cientos de metros de distancia. Las lesiones y los daños son ocasionados primeramente por la onda de choque de la explosión. Hay personas golpeadas, o derribadas, o enterradas bajo edificios derrumbados, o heridas por cristales volantes. Aunque los efectos de la presión excesiva pueden provocar directamente la muerte, es probable que esto sólo se produzca con las personas que trabajan muy cerca del lugar de la explosión. La historia de las explosiones industriales muestra que los efectos indirectos de los edificios que se derrumban y los cristales y escombros que vuelan por el aire causan muchas más pérdidas de vidas humanas y heridas graves.

Los efectos de la onda de choque varían según las características del material, su cantidad y el grado de restricción de la nube de vapor. Por consiguiente, las presiones máximas en una explosión varían de una ligera sobrepresión a unos cuantos cientos de kilopaskales (kPa). Las lesiones directas se producen a presiones de 5 a 10 kPa (una sobrepresión mayor origina por lo general la pérdida de la vida), mientras que los edificios se derrumban y las ventanas y las puertas se rompen a presiones tan bajas como de 3 a 10 kPa. La presión de la onda de choque disminuye rápidamente con el aumento de la distancia desde la fuente de la explosión. A título de ejemplo, la explosión de un tanque que contuviera 50 toneladas de propano produciría una presión de 14 kPa a 250 metros y una presión de 5 kPa a 500 metros a partir del tanque.

#### 1.2.1.1. Deflagración y detonación

Las explosiones pueden producirse en forma de una deflagración o de una detonación, en función de la velocidad de combustión durante la explosión. Se produce una deflagración cuando la velocidad de

combustión o la velocidad de la llama es relativamente lenta, del orden de 1 m/seg. En una detonación, en cambio, la velocidad de la llama es extremamente elevada. El frente de la llama se desplaza como una onda de choque, con una velocidad normal de 2 000 a 3 000 m/seg. Una detonación genera mayores presiones y es mucho más destructiva que una deflagración. La presión máxima causada por una deflagración en un recipiente atmosférico cerrado gira en torno a los 70–80 kPa, mientras que una detonación puede alcanzar fácilmente una presión de 200 kPa. El hecho de que se produzca una deflagración o una detonación dependerá del material de que se trate, así como de las condiciones en que ocurre la explosión. Por lo común, se acepta que una explosión en fase de vapor requiere cierto grado de limitación para que se produzca una detonación.

### 1.2.1.2. Explosiones de gases y de polvos

Es posible hacer una distinción entre las explosiones de gases y las de polvos tomando como base el material de que se trate. Se producen explosiones de gases, que en general son catastróficas, cuando se liberan y dispersan con el aire considerables cantidades de material inflamable para formar una nube de vapor explosivo antes de que tenga lugar la ignición. Las explosiones de polvos se producen cuando materiales sólidos inflamables se mezclan intensamente con el aire. El material sólido dispersado adopta la forma de material pulverizado con partículas de dimensiones muy pequeñas. La explosión resulta de un hecho inicial, como un incendio o una pequeña explosión, que motiva que el polvo depositado sobre las superficies pase a ser transmitido por el aire. Al mezclarse con el aire se produce una explosión secundaria que a su vez puede originar una explosión terciaria, y así sucesivamente. En el pasado, estas series sucesivas de explosiones han provocado catástrofes y la destrucción de fábricas enteras. Puesto que los cereales, la leche en polvo y la harina son inflamables, las explosiones de polvo han sido más comunes en la industria agrícola. Sin embargo, la historia de las explosiones de polvo, particularmente las de los últimos años, ha mostrado que los efectos nocivos se limitan en general al lugar de trabajo y afectan menos a quienes se encuentran fuera de la fábrica.

### 1.2.1.3. Explosiones de nubes de vapor confinado o no confinado

Las explosiones en locales cerrados son las que se producen dentro de algún tipo de contenedor, como un recipiente o una tubería. Las explosiones dentro de los edificios también corresponden a esta categoría. Las explosiones que se producen al aire libre se designan como no limitadas y originan presiones máximas de sólo unos pocos kPa. Las presiones máximas de las explosiones en lugares cerrados o limitadas suelen ser superiores y pueden llegar a cientos de kPa. En el cuadro 1 figura una lista de algunas explosiones industriales. Todos los ejemplos dados son explosiones de nubes de vapor que, en algunos casos, produjeron detonaciones debido a que la nube de gas estaba encerrada.

**Cuadro 1. Ejemplos de explosiones industriales**

| Sustancias químicas concernidas | Consecuencias | | Lugar y fecha |
|---|---|---|---|
| | Muertes | Lesiones | |
| Eterdimetílico | 245 | 3 800 | Ludwigshafen, República Federal de Alemania, 1948 |
| Queroseno | 32 | 16 | Bitburg, República Federal de Alemania, 1954 |
| Isobutano | 7 | 13 | Lake Charles, Luisiana, Estados Unidos, 1967 |
| Residuos del petróleo | 2 | 85 | Pernis, Países Bajos, 1968 |
| Propileno | – | 230 | East St. Louis, Illinois, Estados Unidos, 1972 |
| Propano | 7 | 152 | Decatur, Illinois, Estados Unidos, 1974 |
| Ciclohexano | 28 | 89 | Flixborough, Reino Unido, 1974 |
| Propileno | 14 | 107 | Beek, Países Bajos, 1975 |

### 1.2.2. Incendios

Los efectos de los incendios sobre las personas son quemaduras de piel por exposición a las radiaciones térmicas. La gravedad de las quemaduras depende de la intensidad del calor y del tiempo de exposición. La radiación térmica es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde la fuente. En general, la piel resiste una energía térmica de 10 $kW/m^2$ durante aproximadamente 5 segundos y de 30 $kW/m^2$ durante sólo 0,4 segundos antes de que se sienta dolor.

Los incendios se producen en la industria con más frecuencia que las explosiones y las emanaciones de sustancias tóxicas, aunque las consecuencias medidas en pérdida de vidas humanas suelen ser menos graves. Por consiguiente, podría considerarse que los incendios constituyen un menor peligro potencial que las explosiones y los escapes de sustancias tóxicas. No obstante, si se retrasa la ignición de un material inflamable que se escapa, puede constituirse una nube

de vapor de material inflamable no encerrada. Este caso se ha examinado en la subsección 1.2.1.

Los incendios pueden adoptar varias formas diferentes, entre ellas los de incendios de chorro, depósitos, los producidos por relámpagos y explosiones provocadas por la ebullición de líquidos que expanden vapor. Un incendio de surtidor o chorro podría surgir cuando una larga llama estrecha procedente, por ejemplo, de una tubería de gas inflamado tiene un escape. Un incendio de depósito se produciría, por ejemplo, si una fuga de petróleo bruto de un depósito situado dentro de un muro de protección se inflamara. Un incendio repentino podría originarse si un escape de gas llegara a una fuente de combustión y se quemara rápidamente regresando a la fuente del escape. Las explosiones provocadas por la ebullición de líquidos que expanden vapor son comúnmente mucho más graves que los demás incendios y se describen más adelante con mayor detalle.

Otro efecto letal que debe tomarse en consideración al producirse un incendio es la disminución del oxígeno en la atmósfera debido al consumo de oxígeno en el proceso de combustión. En general, este efecto se limita al entorno inmediato del lugar del incendio. Son asimismo importantes los efectos sobre la salud originados por la exposición a los humos generados por el incendio. Esos humos pueden incluir gases tóxicos, como bióxido de azufre, de la combustión de disulfuro de carbono y de óxidos nitrosos de los incendios en los que interviene el nitrato amónico.

### 1.2.2.1. Explosión de un líquido en ebullición con desprendimiento de vapores en expansión

Designada algunas veces como una bola de fuego, una explosión de este tipo es una combinación de incendio y explosión con una emisión de calor radiante intenso en un intervalo relativamente breve de tiempo. Como indica la expresión, el fenómeno puede producirse dentro de un recipiente o depósito en el que se mantenga un gas licuado por encima de su punto de ebullición atmosférico. Si un recipiente a presión se rompe como resultado de un debilitamiento de su estructura, el contenido se escapa al instante como una mezcla turbulenta de líquido y gas que se expande rápidamente y se dispersa por el aire como una nube. Cuando esta nube se inflama, se produce una bola de fuego, que origina una radiación térmica de enorme intensidad en unos pocos segundos. Esta intensidad calorífica basta para causar muertes y graves quemaduras en la piel a varios cientos de metros del recipiente, según la cantidad del gas de que se trate. Este tipo de explosión puede ser causado por un impacto físico sobre un recipiente o depósito que ya está averiado o sometido a una presión excesiva, debido por ejemplo a un accidente de tráfico con un camión cisterna o al descarrilamiento de un vagón cisterna, o también a un incendio que afecte o que se extienda a un contenedor o depósito y que debilite su estructura. Una explosión provocada por la ebullición de un líquido que expande vapor de una cisterna de 50 toneladas de propano puede ocasionar quemaduras de tercer grado a distancias de aproximadamente 200 metros y ampollas a distancias de unos 400 metros.

En el cuadro 2 figura una lista de algunos de los principales incendios.

A veces resulta difícil hacer una distinción entre un incendio y una explosión. Muy a menudo una explosión va seguida de un incendio, y ambos fenómenos causan víctimas.

**Cuadro 2. Ejemplos de incendios importantes**

| Sustancias químicas concernidas | Consecuencias | | Lugar y fecha |
|---|---|---|---|
| | Muertes | Lesiones | |
| Metano | 136 | 77 | Cleveland, Ohio, Estados Unidos, 1944 |
| GLP[1] (ELEVE[2]) | 18 | 90 | Feyzin, Francia, 1966 |
| GNL[3] | 40 | – | Staten Island, Nueva York, Estados Unidos, 1973 |
| Metano | 52 | – | Santa Cruz, México, 1978 |
| GLP[1] (ELEVE[2]) | 650 | 2 500 | México, D.F., México, 1985 |

[1] Gas licuado de petróleo. [2] Explosión de líquido en ebullición con deprendimiento de vapores en expansión. [3] Gas natural licuado.

### 1.2.3. Escape de gases tóxicos

Existen numerosas sustancias químicas con las que es preciso actuar con particular meticulosidad para impedir que produzcan efectos nocivos en los trabajadores. La importante disciplina de la higiene en el trabajo existe para elaborar los métodos necesarios de control contra la exposición a esas sustancias químicas, de ser posible durante toda la vida laboral de un trabajador industrial. Esto tiene una importancia esencial para la seguridad de los trabajadores. Por otra parte, los efectos de las sustancias químicas tóxicas son totalmente diferentes cuando se examinan los riesgos de accidentes mayores y guardan relación con una exposición aguda

durante e inmediatamente después de un accidente importante, más que con una exposición crónica de larga duración. En otras palabras, el presente manual examina el almacenamiento y utilización de sustancias químicas tóxicas, frecuentemente en muy grandes cantidades que, si escaparan, se dispersarían con el viento y tendrían la posibilidad potencial de matar o lesionar a personas que viven a muchos cientos de metros de la fábrica y que no pueden huir o hallar refugio.

La toxicidad de las sustancias químicas se suele determinar mediante el empleo de cuatro métodos principales, que son los siguientes: el estudio de los incidentes, los estudios epidemiológicos, los experimentos sobre animales y los ensayos con microorganismos. A pesar de su valor evidente, todos esos métodos tienen deficiencias cuyo examen queda fuera del alcance de este manual, pero que implican la necesidad de actuar con prudencia al interpretar los resultados. En la toxicidad de las sustancias químicas influyen asimismo otros factores, como la edad, el sexo, los antecedentes genéticos, el grupo étnico al que se pertenece, la nutrición, la fatiga, las enfermedades, la exposición a otras sustancias con efectos sinergéticos, y las horas y modalidades del trabajo.

Aunque los datos al respecto no son abundantes, cabe determinar la toxicidad de ciertas sustancias químicas. Por ejemplo, se sabe que el cloro resulta peligroso para la salud humana en concentraciones de 10 a 20 partes por millón (ppm) con una exposición de 30 minutos. Ese gas resulta letal en concentraciones de 100 a 150 ppm con exposiciones de 5 a 10 minutos de duración. La exposición al cloro por períodos más cortos puede ser letal en concentraciones de 1 000 ppm. En lo que se refiere a las consecuencias de un escape de cloro, se sabe que una fuga instantánea de 10 toneladas de esta sustancia química puede producir una concentración máxima de 140 ppm a una distancia de 2 km a favor del viento a partir de la fuente y de 15 ppm a una distancia de 5 km en condiciones climáticas D5 (condiciones climáticas normales de no inversión).

En el cuadro 3 se indican algunos accidentes industriales importantes causados por escapes tóxicos de diferentes sustancias químicas, algunos de los cuales causaron víctimas. El cloro y el amoníaco figuran entre las sustancias químicas tóxicas más comúnmente utilizadas en grandes cantidades y que entrañan riesgos, y ambos tienen un historial de accidentes graves. Del mismo modo, otras sustancias químicas, como el isocianato de metilo y la dioxina, se deben utilizar con particular cuidado dada su mayor toxicidad, aun cuando se pueden manipular en cantidades menores. Por este motivo, varias de estas sustancias químicas muy tóxicas se han incluido en la llamada «Directiva de Seveso» de la CE (véase el apéndice 1).

**Cuadro 3. Ejemplos de escapes importantes de sustancias tóxicas**

| Sustancias químicas concernidas | Consecuencias | | Lugar y fecha |
|---|---|---|---|
| | Muertes | Lesiones | |
| Fosgeno | 10 | – | Poza Rica, México, 1950 |
| Cloro | 7 | – | Wilsum, República Federal de Alemania, 1952 |
| Dioxina/TCDD | – | – | Seveso, Italia, 1976 |
| Amoníaco | 30 | 25 | Cartagena, Colombia, 1977 |
| Dióxido de azufre | – | 100 | Baltimore, Maryland, Estados Unidos, 1978 |
| Acido sulfhídrico | 8 | 29 | Chicago, Illinois, Estados Unidos, 1978 |
| Isocianato de metilo | 2 000 | 200 000 | Bhopal, India, 1984 |

## 1.3. Componentes de un sistema de control de riesgos de accidentes mayores

En la sección 1.2 se han descrito los diversos accidentes principales que pueden producirse y que han inducido al establecimiento del concepto de un «riesgo de accidente mayor», como una actividad industrial que requiere otras medidas de control de las aplicadas en las actividades industriales normales para proteger a los trabajadores y a las personas que viven y trabajan fuera de la fábrica de que se trate. Esas medidas forman un conjunto integrado – un sistema de control contra los riesgos de accidentes mayores – que tiene por objeto no sólo prevenir los accidentes, sino también, y ello es sumamente importante, mitigar las consecuencias de cualquier accidente que pueda producirse.

Debido a la complejidad de las actividades industriales de que se trata, el control de riesgos de accidentes mayores tiene que basarse sobre un método sistemático.

Los componentes esenciales de este sistema son los siguientes:

a) *Determinación de las instalaciones sujetas a riesgos de accidentes mayores.* Es preciso determinar las instalaciones que, según la definición, pueden corresponder a los criterios establecidos para la

clasificación de las instalaciones que implican riesgos mayores. Las autoridades estatales y la dirección de las empresas deben instituir la determinación de las instalaciones que implican un alto riesgo sobre una base prioritaria. Esa determinación se puede realizar de acuerdo con las orientaciones indicadas en el capítulo 2, en el que también figura una lista de las 20 sustancias a que se debe dar prioridad a este respecto.

b) *Información acerca de la instalación.* Una vez que se han señalado las instalaciones que representan mayores riesgos, es necesario reunir información adicional acerca de su diseño y funcionamiento. Además, esa información debe describir también todos los demás riesgos específicos de la instalación. Debido a la probable complejidad de la instalación, la información debe acopiarse y ordenarse sistemáticamente y ser accesible a todas las partes interesadas de la industria, tales como las direcciones de empresas y los trabajadores, y de fuera de la industria, como los órganos estatales que pueden necesitarla por concesión de licencias e inspección. Para efectuar una descripción completa de los riesgos, tal vez resulte imprescindible realizar estudios sobre seguridad y evaluaciones de los riesgos con el fin de descubrir posibles fallas en los procedimientos y de establecer prioridades durante el proceso de evaluación de los riesgos. Cabe utilizar métodos rápidos de clasificación para elegir las dependencias que pueden requerir una evaluación más a fondo. En la sección 3.5 y en el apéndice 6 se describe el contenido de un estudio de ese tipo en forma de un informe sobre seguridad. En el apéndice 2 se presenta un ejemplo de un método rápido para clasificar las dependencias según sus riesgos.

c) *Medidas que se han de adoptar en relación con la actividad industrial.* Además de preparar un informe, la dirección de una empresa tiene la responsabilidad primordial de hacer funcionar y mantener una fábrica segura. Por tanto, se requiere una política correcta de seguridad. Las inspecciones técnicas, las actividades de mantenimiento, la modificación de la planta, la capacitación y la selección del personal adecuado se deben llevar a cabo según procedimientos bien fundados. A la preparación del informe sobre seguridad se debe añadir la investigación de los accidentes y la presentación de informes al respecto a las autoridades. Se han de tener en cuenta la experiencia adquirida en los accidentes que se han producido o han estado a punto de producirse. Para más detalles con respecto a la función de la dirección de las fábricas, conviene remitirse a las secciones 3.1 a 3.5.

d) *Medidas adoptadas por las autoridades públicas.* La evaluación de los riesgos a los efectos de la concesión de licencias, cuando proceda, la inspección y el cumplimiento de la legislación incumben a las autoridades públicas encargadas de controlar los riesgos de accidentes mayores. La planificación del uso de la tierra puede reducir en forma considerable las posibilidades de un desastre y probablemente está sometida al control del Estado. La capacitación de los inspectores de fábrica, con inclusión de los inspectores químicos, es asimismo una función pública importante. En el capítulo 4 se dan más explicaciones sobre la función de las autoridades.

e) *Planificación para los casos de emergencia.* Todos los elementos anteriores se concentran en la prevención de un accidente grave. La planificación para los casos de emergencia tiene por objeto reducir las consecuencias de los accidentes principales y parte del supuesto de que no puede garantizarse la seguridad absoluta. Al establecer una planificación de emergencia, se ha de hacer una distinción entre la planificación en el lugar y fuera del lugar. Un plan bien estructurado y claro debe basarse sobre un informe de seguridad correctamente preparado y que se puede emplear con rapidez y eficacia cuando se produce un accidente importante. En el capítulo 6 se dan más detalles sobre la planificación de emergencia.

## 1.4. Exclusiones

Aunque algunas partes pueden resultar aplicables a un campo más amplio de actividades industriales, el presente manual se ocupa del control de los riesgos industriales graves, tal como se describen en la sección 1.1. Se excluyen las medidas necesarias para el transporte de sustancias químicas peligrosas, puesto que su regulación y ordenación son totalmente diferentes de las aplicables en lugares estáticos.

Igualmente se excluyen del alcance de este manual los riesgos nucleares y los que tienen un carácter estrictamente militar, dada la probabilidad de que ambos estén sometidos a un sistema de control global propio.

# 2. Determinación de las instalaciones que implican riesgos de accidentes mayores

Cualquier sistema de control de riesgos de accidentes mayores ha de establecer prioridades, que pueden lógicamente diferir de un país a otro. Es siempre probable que los recursos sean limitados tanto en los diversos organismos públicos como en la industria y, en consecuencia, se debe prestar particular atención a que las medidas de control de los riesgos se orienten hacia los sectores prioritarios.

Es obviamente improcedente examinar todos los posibles procesos industriales que podrían dar origen a lesiones o muertes y designarlos como riesgos de accidentes mayores. La lista definitiva resultaría enorme y difícil de manejar en cualquier país (desarrollado o en desarrollo).

Suele ser necesario definir los riesgos principales por medio de una lista de sustancias peligrosas con las cantidades conexas que pueden originar el accidente, de modo que las instalaciones industriales que entren en el campo de la definición, como fábricas o talleres sujetos a riesgos graves, sean reconocidas como las que requieren una atención prioritaria, es decir, las que presentan el peligro potencial de causar un accidente muy grave que es probable afecte a seres humanos de dentro y fuera del lugar donde sucede.

## 2.1. Propósito y procedimientos de determinación

La determinación de los riesgos de accidentes mayores es el punto de partida de cualquier sistema de control y, una vez que se han indicado, se establece el programa para aplicar los diversos componentes del sistema. Este proceso mostrará qué materiales peligrosos se encuentran más comúnmente en cantidades que representan un riesgo importante y que requieren, en consecuencia, una atención prioritaria del grupo de expertos (subsección 7.3.1). Cuando se solicitan licencias en relación con nuevos riesgos importantes, las autoridades (la inspección de las fábricas) necesitarán quizás una información adicional suficiente (sección 3.5) para examinar de manera adecuada la solicitud. Se puede dar comienzo al examen de los demás componentes descritos en capítulos posteriores (por ejemplo, la planificación de emergencia).

Aun cuando la definición de una sustancia/cantidad que presenta un riesgo importante es probablemente el método utilizado para definir este tipo de riesgo en la mayoría de los países, si no en todos, la determinación de las explotaciones a partir de esta definición dependerá de las circunstancias locales y se examina en la sección 7.2. El método más comúnmente elegido consiste en imponer a la dirección de las explotaciones que presentan un riesgo importante la obligación legal de notificar a las autoridades sus actividades; sin embargo, existen otras soluciones, basadas por ejemplo sobre registros de los inspectores de fábricas, que pueden resultar apropiadas.

La definición de un riesgo importante con respecto a cualquier país puede verse modificada a medida que se acumulan experiencia y conocimientos teóricos sobre los riesgos actuales y sobre nuevos riesgos, así como sobre el historial de los accidentes principales ocurridos desde que se estableció la definición de la sustancia/cantidad.

## 2.2. Instalaciones que implican un riesgo de accidente mayor con arreglo a la Directiva de la CEE

Como resultado de varios incidentes acaecidos en la industria química en Europa en los últimos dos decenios, en varios países de Europa occidental se ha promulgado una legislación específica, relativa a las actividades que entrañan un riesgo importante. Una característica esencial de esa legislación es la obligación del empleador de una instalación industrial que implica un riesgo importante, con respecto a presentar información acerca de la actividad y sus riesgos basada sobre resultados de estudios sistemáticos de seguridad. Después del accidente de 1976 en Seveso, Italia, los reglamentos sobre los riesgos de accidentes mayores en los diversos países de la Comunidad se agruparon o integraron en una Directiva de la CEE. Esa Directiva, relativa a los riesgos de accidentes graves de ciertas actividades industriales, está en vigor desde 1984 y se designa a menudo con el nombre de Directiva de Seveso.

A los efectos de determinación de las instalaciones que presentan riesgos importantes, la Directiva de la CEE utiliza ciertos criterios. Esos criterios se fundan en las propiedades tóxicas, inflamables y explosivas de las sustancias químicas, tal como se describe en el cuadro 4.

Para la selección de actividades industriales concretas que implican peligros importantes, se facilita una lista de sustancias y de los umbrales límite. Esta lista figura en el apéndice 1. La Directiva define una actividad industrial como el conjunto de todas las instalaciones situadas entre sí a una distancia de 500 metros como máximo y que pertenecen a la misma fábrica o planta.

**Cuadro 4. Criterios de la Directiva de la CEE con respecto a las instalaciones que presentan riesgos de accidentes mayores**

*Sustancias tóxicas* (muy tóxicas y tóxicas):

Sustancias que muestran los valores de toxicidad aguda que se indican a continuación y que tienen propiedades físicas y químicas capaces de ocasionar riesgos importantes de accidentes:

| | DL50 (oral), en la rata mg/kg | DL50 (cutánea), en la rata o el conejo mg/kg | CL50 por inhalación (4 horas), en la rata mg/l |
|---|---|---|---|
| 1. | DL50 < 5 | DL < 1 | CL50 < 0,10 |
| 2. | 5 < DL50 < 25 | 10 < DL50 < 50 | 0,1 < CL50 < 0,5 |
| 3. | 25 < DL50 < 200 | 50 < DL50 < 400 | 0,5 < CL50 < 2 |

*Sustancias inflamables:*

1. Gases inflamables: sustancias que en estado gaseoso a una presión normal y mezcladas con el aire se hacen inflamables y cuyo punto de ebullición a una presión normal es de 20 °C o inferior.
2. Líquidos altamente inflamables: sustancias que tienen una temperatura de inflamabilidad inferior a los 21 °C y cuyo punto de ebullición a una presión normal es superior a 20 °C.
3. Líquidos inflamables: sustancias que tienen una temperatura de inflamabilidad inferior a los 55 °C y que conservan el estado líquido bajo presión, y en las que unas condiciones particulares de elaboración, como una presión elevada y una temperatura elevada, pueden crear riesgos de accidentes graves.

*Sustancias explosivas:*

Sustancias que pueden hacer explosión por efecto de una llama o que son más sensibles a choques o fricciones que el dinitrobenceno.

Cuando la cantidad presente de las sustancias excede el umbral límite que figura en la lista, la actividad se considera como una instalación que entraña un riesgo importante. La lista de sustancias consta de 180 sustancias químicas, mientras que los umbrales límite varían entre 1 kg para sustancias extremamente tóxicas hasta 50 000 toneladas para líquidos muy inflamables. Se proporciona asimismo una lista separada de unas pocas sustancias que requieren un almacenamiento aislado.

Además de los gases, líquidos y explosivos inflamables, la lista contiene sustancias químicas como el amoníaco, el cloro, el anhídrido sulfúrico y el acrilonitrilo.

## 2.3. Campo de actuación con respecto a las prioridades

Para que un sistema de control de riesgos alcance sus objetivos, es preciso que se pueda aplicar. Con el fin de facilitar la aplicación del sistema y de inducir a las autoridades y a los empresarios a aplicarlo, debe estar orientado por prioridades, concentrando su atención en las instalaciones con más riesgos.

El establecimiento de prioridades se puede efectuar recurriendo a diversos métodos y técnicas. Una manera de hacerlo consiste en concentrarse en menos sustancias químicas de las que actualmente figuran en la definición de la CEE. Por tanto, la lista de sustancias químicas que figuran en el apéndice 1 puede acortarse con el fin de dar preeminencia a los lugares donde existen las sustancias químicas más peligrosas. En el cuadro 5 figura una lista de las prioridades que se sugieren.

A partir de las sustancias químicas recogidas en el cuadro 5 a título de orientación, se puede establecer una lista de instalaciones. Si la lista sigue siendo demasiado larga para que las autoridades puedan ocuparse de todas las instalaciones, cabe establecer nuevas prioridades por medio de la fijación de nuevos umbrales de cantidad. El establecimiento de prioridades puede utilizarse también dentro de la fábrica para poner al descubierto las partes que presentan mayores riesgos de accidentes recurriendo a métodos de clasificación rápida, por ejemplo.

**Cuadro 5. Sustancias químicas que se utilizan prioritariamente para determinar las instalaciones con riesgos de accidentes mayores**

| Nombre de la sustancia | Cantidad (>) | Número de serie de la lista de la CEE |
|---|---|---|
| *Sustancias inflamables en general:* | | |
| Gases inflamables | 200 t | 124 |
| Líquidos altamente inflamables | 50 000 t | 125 |
| *Sustancias inflamables específicas:* | | |
| Hidrógeno | 50 t | 24 |
| Oxido de etileno | 50 t | 25 |
| *Explosivos específicos:* | | |
| Nitrato amónico | 2 500 t | 146 b |
| Nitroglicerina | 10 t | 132 |
| Trinitrotolueno | 50 t | 145 |
| *Sustancias tóxicas específicas:* | | |
| Acrilonitrilo | 200 t | 18 |
| Amoniaco | 500 t | 22 |
| Cloro | 25 t | 16 |
| Dióxido de azufre | 250 t | 148 |
| Acido sulfhídrico | 50 t | 17 |
| Cianuro de hidrógeno | 20 t | 19 |
| Disulfuro de carbono | 200 t | 20 |
| Floruro de hidrógeno | 50 t | 94 |
| Cloruro de hidrógeno | 250 t | 149 |
| Trióxido de azufre | 75 t | 180 |
| *Sustancias muy tóxicas específicas:* | | |
| Isocianato de metilo | 150 kg | 36 |
| Fosgeno | 750 kg | 15 |

Esos métodos se basan sobre un breve estudio de la actividad industrial en conjunto o en parte. De esta forma se establecen factores numéricos que se incorporan al cálculo de un «índice de seguridad» que sirve de indicación de la magnitud del riesgo. Este método se describe en el apéndice 2. A veces resulta arduo y su interpretación debe realizarse con gran meticulosidad.

## 2.4. Instalaciones que presentan los riesgos mayores típicos

Dada la diversidad y complejidad de la industria en general, no es posible circunscribir las instalaciones que presentan los riesgos principales a ciertos sectores de actividad industrial. Sin embargo, la experiencia indica que las instalaciones con mayores riesgos están por lo común relacionadas con las actividades siguientes:

*a)* fábricas de productos petroquímicos y refinerías;

*b)* fábricas de productos químicos y plantas de producción de productos químicos;

*c)* almacenamiento y terminales de gas licuado de petróleo;

*d)* almacenes y centros de distribución de productos químicos;

*e)* grandes almacenes de fertilizantes;

*f)* fábricas de explosivos, y

*g)* fábricas en que se utiliza cloro en grandes cantidades.

# 3. El papel de la dirección

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

*a)* proporcionar la información necesaria para determinar las instalaciones con riesgos de accidentes mayores;

*b)* llevar a cabo la evaluación del riesgo;

*c)* informar a las autoridades de los resultados de la evaluación del riesgo;

*d)* establecer un plan de emergencia;

*e)* adoptar medidas para mejorar la seguridad de la planta.

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

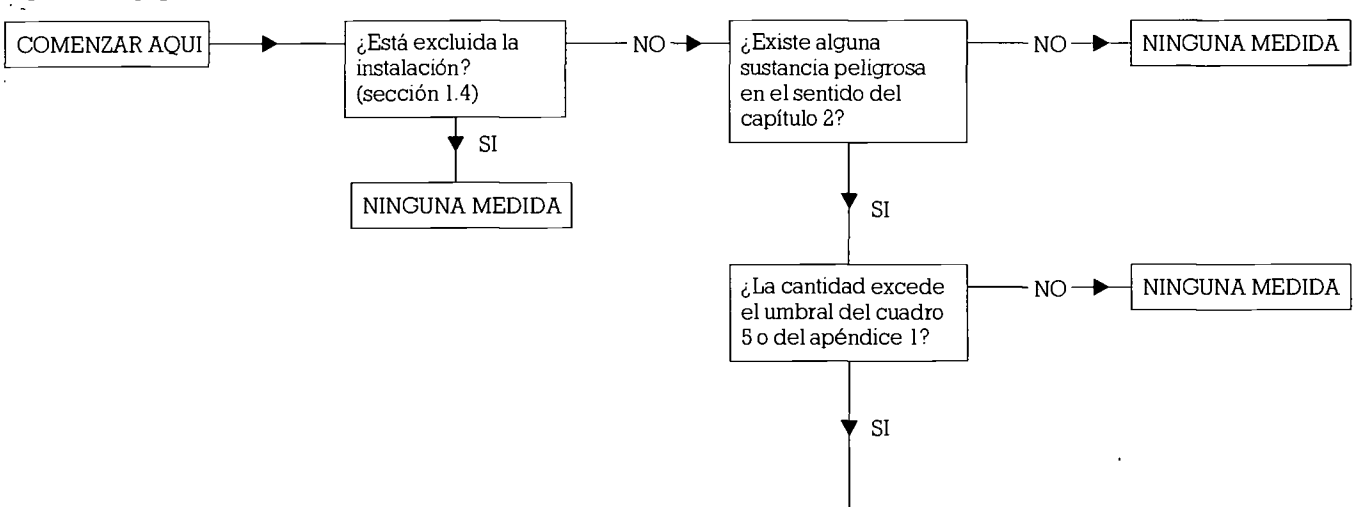
En primer lugar y sobre todo, la dirección de una instalación que puede causar un accidente importante tiene el deber de luchar contra ese riesgo grave. Para ello, debe tener conciencia de la naturaleza del riesgo, de los acontecimientos que causan accidentes y de las consecuencias potenciales de esos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

*a)* ¿Las sustancias tóxicas, los explosivos o las sustancias inflamables constituyen un riesgo importante en nuestras instalaciones?

*b)* ¿Qué deficiencias o errores pueden ocasionar condiciones anormales que provoquen un accidente grave?

*c)* Si se produce un accidente importante, ¿cuáles son las consecuencias de un incendio, una explosión o un escape de sustancias tóxicas para los empleados, las personas que viven fuera de la fábrica, la planta o el medio ambiente?

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




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

*d)* ¿Qué puede hacer la empresa para impedir que esos accidentes se produzcan?

*e)* ¿Qué se puede hacer para mitigar las consecuencias de un accidente?

## 3.1. Evaluación de los riesgos

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

Por tanto, una evaluación adecuadamente realizada:

*a)* analizará el concepto de seguridad existente o elaborará uno nuevo;

*b)* determinará los riesgos restantes, y

*c)* establecerá medidas óptimas para la protección técnica y organizativa en los casos de funcionamiento anormal de la planta.

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

### 3.1.1. Métodos de evaluación del riesgo

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

| Accidente | Sistema | Riesgo | Componente relacionado con la seguridad |
|---|---|---|---|
| Explosión de vapor | Recipiente de almacenamiento | Formación de una atmósfera explosiva *fuera* del recipiente de almacenamiento debido a: | |
| | | – fallo de una válvula de seguridad | Válvula de seguridad |
| | | – corrosión del recipiente | Protección del recipiente contra la corrosión |
| | | – presión excesiva | Medida de la presión, medida de la temperatura, sistema de aspersión, válvula de seguridad |

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

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

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

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

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

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

a) *Concepto básico*

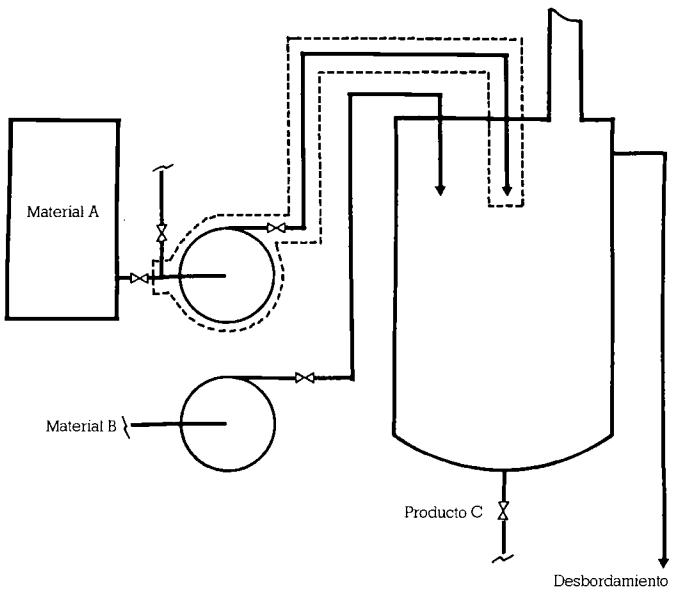
El estudio del riesgo y la capacidad de funcionamiento examina la totalidad del proceso, o por lo menos las partes del proceso que se han clasificado como «pertinentes» en el análisis preliminar. Cuestiona sistemáticamente cada parte del proceso para descubrir cómo se pueden producir desviaciones de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

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

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

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

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




Reacción: A + B = C
El componente B no debe exceder el componente A, para evitar una explosión
La parte de la planta examinada se indica con ----------

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

b) *Un ejemplo sencillo*

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

Remitiéndonos a la figura 2, comencemos, por ejemplo, por la tubería que se extiende desde el lado aspirante de la bomba que alimenta la materia prima A a donde penetra en el recipiente de reacción (véase el apéndice 3 para una explicación de las palabras de referencia).

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

NO TRANSFERIR A.

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

*a)* la cisterna de alimentación está vacía;

*b)* la bomba no consigue girar debido a:

- un fallo mecánico;
- un fallo eléctrico;
- que no está conectada, etc.;

*c)* rotura de la tubería;

*d)* cierre de la válvula de aislamiento;

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

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

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

HA PASADO MAS A AL RECIPIENTE DE REACCION.

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

*a)* la reacción produce C contaminado con un exceso de A que pasa a la etapa siguiente del proceso;

*b)* el flujo excesivo que pasa al recipiente de reacción significa que una parte de él saldrá del recipiente por desbordamiento.

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

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

#### 3.1.1.3. Otros métodos de evaluación

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

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

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

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

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

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

*a)* una descripción del accidente (rotura de una cisterna, rotura de una tubería, fallo de una válvula de seguridad, incendio);

*b)* un cálculo de la cantidad de material liberado (tóxico, inflamable, explosivo);

*c)* un cálculo de la dispersión del material liberado (gas o líquido en evaporación);

*d)* un cálculo de los efectos (tóxicos, radiación térmica, onda de explosión).

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

## 3.2. Causas de los riesgos industriales graves

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

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

### 3.2.1. Fallos de los componentes

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

*a)* un diseño inadecuado en relación con la presión interna, las fuerzas externas, los medios corrosivos y la temperatura;

*b)* un fallo mecánico de los recipientes o de las tuberías debido a la corrosión o a un impacto exterior;

*c)* fallo de componentes tales como bombas, compresores, ventiladores impelentes o agitadores;

*d)* fallo de los sistemas de control (sensores de la presión y la temperatura, controladores del nivel, medidores de flujo, unidades de control, ordenadores de procesos);

*e)* fallo de los sistemas de seguridad (válvulas de seguridad, diafragmas protectores, sistemas de

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

*f)* fallos de las soldaduras y las bridas.

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

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

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

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

*a)* deficiencias en la vigilancia de los parámetros esenciales del proceso (presión, temperatura, flujo, cantidad, proporciones de mezcla) y en la obtención de esos parámetros;

*b)* fallo en el suministro manual de los componentes químicos;

*c)* fallos en los servicios, como:

  i) insuficiencia del fluido refrigerante para reacciones exotérmicas;

  ii) insuficiencia del vapor o medio de caldeo;

  iii) falta de electricidad;

  iv) falta de nitrógeno;

  v) falta de aire comprimido (aire para los instrumentos);

*d)* deficiencias en los procedimientos de puesta en marcha o parada, que podrían provocar una atmósfera explosiva dentro de la planta;

*e)* formación de productos secundarios, residuos o impurezas, que podrían provocar reacciones parásitas (polimerización).

Las consecuencias de estos fallos o deficiencias únicamente se pueden entender después de examinar el comportamiento de todo el sistema en el caso de que se produzcan. Se pueden adoptar contramedidas por medio de un control del proceso seguro (automático o manual), unos buenos procedimientos de explotación, una inspección adecuada y un programa de pruebas y ensayos.

### 3.2.3. Errores humanos y organizativos

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

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

*a)* error del operario (botón erróneo, válvula errónea);

*b)* sistemas de seguridad desconectados debido a la frecuencia de las falsas alarmas;

*c)* error en sustancias peligrosas (error en la identificación de los materiales);

*d)* errores de comunicación;

*e)* reparación o trabajo de mantenimiento incorrecto;

*f)* soldadura no autorizada.

Estos errores humanos se producen debido a que:

*a)* el personal encargado del manejo no es consciente de los riesgos;

*b)* el personal encargado del manejo está insuficientemente capacitado para el trabajo; o

*c)* se espera demasiado del personal de explotación.

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

### 3.2.4. Interferencias externas accidentales

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

*a)* el transporte por carretera y ferrocarril (especialmente de mercancías peligrosas);

*b)* el tráfico naval;

*c)* las estaciones de carga de sustancias inflamables/explosivas;

*d)* el tráfico aéreo;

*e)* las plantas vecinas, especialmente las que manipulan sustancias inflamables/explosivas, y

*f)* los impactos mecánicos, como los causados por una grúa que se cae.

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

#### 3.2.5. Fuerzas naturales

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

*a)* el viento;

*b)* las inundaciones;

*c)* los terremotos;

*d)* el asentamiento del terreno como resultado de actividades mineras;

*e)* las heladas excepcionales;

*f)* una luz solar excepcional;

*g)* los relámpagos.

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

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

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

#### 3.2.7. Deficiencias adicionales

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

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

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

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

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

*a)* las cargas estáticas;

*b)* las cargas dinámicas;

*c)* la presión interna y externa;

*d)* la corrosión;

*e)* las cargas debidas a grandes diferencias de temperatura;

*f)* las cargas debidas a impactos exteriores (viento, nieve, terremotos, asiento).

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

#### 3.3.2. Funcionamiento y control

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

- un control manual;
- un control automático;

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

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

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

*Primer sistema*

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

*Segundo sistema*

Cuando la variable supera el valor límite, el sistema de control pone en marcha una medida automática para que la variable del proceso vuelva a su campo de variabilidad normal. Si el sistema no lo consigue, la variable puede alcanzar un valor que provoque un estado de riesgo de accidente mayor.

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

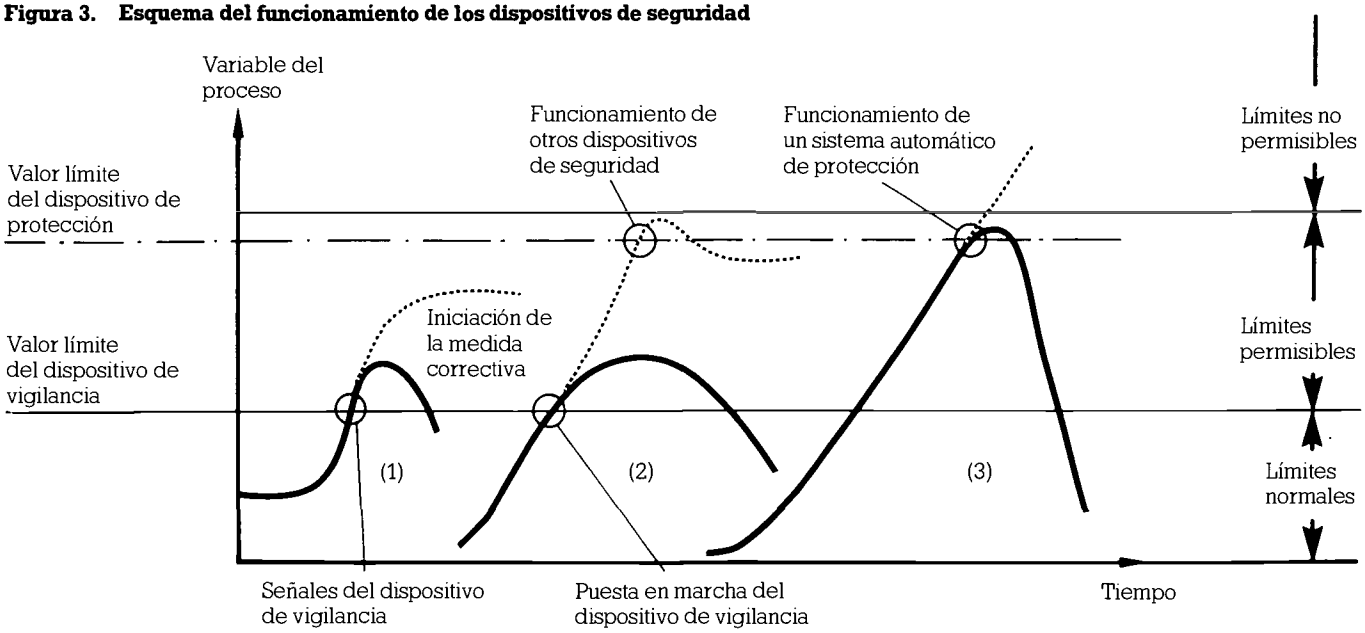
*Tercer sistema*

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

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

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

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



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

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

### 3.3.3. Sistemas de seguridad

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

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

a) *Sistemas de alivio de la presión*

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

b) *Sensores de temperatura/presión/flujo*

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

c) *Sistemas de prevención de desbordamiento*

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

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

Se trata de sistemas que paran la planta (es decir, cierran las bombas y los compresores y cierran o abren válvulas de ajuste rápido) para poner la planta en situación de seguridad. Estos sistemas se pueden poner en marcha automática o manualmente.

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

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

#### 3.3.3.3. Servicios

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

#### 3.3.3.4. Sistemas de alarma

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

*a)* vigilar los parámetros del proceso (temperatura, presión, magnitud del flujo, cantidad, nivel, proporción de la mezcla, contenido en $O_2$);

*b)* detección de deficiencias de los componentes relacionados con la seguridad (bombas, compresores, agitadores, ventiladores impelentes);

*c)* detección de escapes (detectores de gas, explosímetros);

*d)* detección de fuegos o humos;

*e)* detección de deficiencias de los dispositivos de seguridad (principio de la corriente permanente).

#### 3.3.3.5. Medidas de protección técnicas

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

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

*a)* detectores de gases;

*b)* sistemas rociadores de agua (para enfriar las cisternas o extinguir un incendio);

*c)* chorros de agua;

*d)* sistemas de dispersión de vapor;

e) cisternas recolectoras y muros de protección.

#### 3.3.3.6. Medidas de mitigación

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

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

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

*a)* empleo de conexiones de diferente dimensión en las estaciones de carga de los camiones cisternas para prevenir la mezcla de sustancias reactivas (por ejemplo, el ácido sulfúrico y el ácido nítrico);

*b)* prevención de las mezclas de materiales por medio de un etiquetado, embalado, inspección de recepción y análisis apropiados;

*c)* interconexión de válvulas y conmutadores relacionados con la seguridad que pueden no funcionar simultáneamente;

*d)* marcado claro de los comutadores, botones y los dispositivos visualizadores en los cuadros de mando;

e) dispositivos adecuados de comunicación para el personal de la planta;

*f)* salvaguardias contra conmutaciones por descuido;

*g)* capacitación del personal.

### 3.3.4. Mantenimiento y vigilancia

La seguridad de una planta y el funcionamiento de los sistemas relacionados con la seguridad sólo pueden tener la calidad que alcancen las funciones de mantenimiento y vigilancia de esos sistemas. Por esta razón, es sumamente importante establecer un plan de mantenimiento y vigilancia de la planta que incluya las siguientes tareas:

*a)* verificación de las condiciones de funcionamiento relacionadas con la seguridad tanto en la sala de control como en el recinto en general;

*b)* verificación de las partes de la planta relacionadas con la seguridad en el lugar mismo, es decir, mediante la inspección visual o por medio de la vigilancia a distancia;

*c)* vigilancia de los servicios relacionados con la seguridad (electricidad, vapor, líquido refrigerante, aire comprimido, etc.);

*d)* preparación de un plan de mantenimiento y de una documentación del trabajo de mantenimiento en la que se especifiquen los diferentes intervalos del mantenimiento y el tipo de tareas que se han de ejecutar.

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

### 3.3.5. Inspección y reparación

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

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

### 3.3.6. Capacitación

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

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

*a)* los riesgos del proceso/las sustancias utilizadas;

*b)* las condiciones posibles de funcionamiento, con inclusión de los procedimientos de puesta en marcha y parada;

*c)* el comportamiento en caso de funcionamientos defectuosos o accidentes;

*d)* la experiencia en otras plantas análogas, en particular con respecto a accidentes o en casos en que han estado a punto de producirse.

## 3.4. Mitigación de las consecuencias

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

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

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

*a)* crear y capacitar a un cuerpo de bomberos, profesionales o voluntarios;

*b)* establecer sistemas de alarma en línea directa con los bomberos o con las fuerzas de emergencia públicas;

*c)* establecer un plan de emergencia que prevea:

i) el sistema de organización utilizado para actuar en la situación de emergencia;

ii) la alarma y las vías de comunicación;

iii) directrices para actuar en la situación de emergencia;

iv) información acerca de las sustancias peligrosas;

v) ejemplos de posibles secuencias del accidente (en el capítulo 6 se presenta una descripción detallada del contenido de un plan de emergencia en el lugar donde se produce);

*d)* llegar a un acuerdo con las autoridades respecto de la coordinación con su plan de lucha contra los accidentes;

e) comunicar a las autoridades la índole y el alcance del riesgo que entraña un eventual accidente;

*f)* proporcionar antídotos, en caso de producirse un escape de sustancias tóxicas (aunque de esto es más probable que se ocupen, si fuera necesario, los servicios médicos locales).

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

## 3.5. Presentación de informes a las autoridades

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

*a)* identificación/notificación de una instalación que presente un riesgo importante;

*b)* preparación de un informe sobre seguridad;

*c)* comunicación inmediata de los accidentes.

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

### 3.5.1. Finalidad de la presentación de informes

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

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

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

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

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

#### 3.5.2.1. Identificación

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

*a)* el fabricante;

*b)* la planta o fábrica (información general);

*c)* las licencias de que se dispone;

*d)* las sustancias peligrosas, sus nombres, cantidades y estado físico.

#### 3.5.2.2. El informe sobre seguridad

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

*a)* determinar la naturaleza y el grado de empleo de sustancias peligrosas en la instalación;

*b)* hacer una descripción de las disposiciones adoptadas con respecto al funcionamiento seguro de la instalación, al control de desviaciones importantes que podrían provocar un accidente mayor y a los procedimientos previstos para casos de urgencia en el emplazamiento;

*c)* determinar el tipo, la probabilidad relativa y las consecuencias de un eventual accidente mayor, y

*d)* demostrar que el fabricante ha indicado que sus actividades pueden provocar un riesgo de accidente mayor y ha previsto medidas adecuadas.

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

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

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

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

1) *Descripción de la instalación*

*a)* emplazamientos:

i) planos del emplazamiento;

ii) entorno (fábricas, vías de comunicación, edificios, hospitales, escuelas, etc.);

*b)* construcción:

i) materiales (sólo los que guardan relación con la seguridad);

ii) datos del proyecto (presión, temperatura, volumen);

iii) cimientos (estabilidad);

*c)* zonas de protección (protección contra las explosiones, distancias de separación);

*d)* accesibilidad a la planta:

i) vías de escape;

ii) vías para los servicios de emergencia.

2) *Descripción de los procedimientos*

*a)* propósito técnico de la instalación;

*b)* principios básicos de los procedimientos tecnológicos:

i) operaciones fundamentales;

ii) reacciones físicas y químicas;

iii) almacenamiento de funcionamiento;

iv) descarga, retención, reciclado o eliminación de los desechos;

v) descarga o tratamiento de los gases de escape;

*c)* condiciones del proceso: descripción del proceso y datos relacionados con la seguridad (presión, temperatura) con respecto a cada etapa del proceso;

*d)* descripción del proceso: la mejor manera de hacer esta descripción es por medio de diagramas del proceso adecuados (diagramas PI), que deben contener información sobre:

i) los componentes utilizados en el proceso;

ii) los suministros de servicios;

iii) las condiciones características del funcionamiento;

iv) la dimensión de los recipientes y tuberías que contienen sustancias peligrosas;

v) los sistemas de control de la presión;

*e)* suministro de servicios: todos los tipos de servicios relacionados con la seguridad (electricidad, vapor, refrigerantes, aire comprimido, gas inerte), y, si se dispone de los datos, se deben describir los suministros de emergencia.

B. *Descripción de las sustancias peligrosas*

1) *Sustancias*

*a)* etapa del proceso en que se utilizan o se pueden utilizar las sustancias;

*b)* cantidades de las sustancias;

*c)* datos sobre las sustancias (físicos y químicos);

*d)* datos relacionados con la seguridad (límites de explosión, punto de inflamación, estabilidad térmica);

*e)* datos toxicológicos (toxicidad, efectos, nivel del olor);

*f)* valores umbrales (valor límite total, concentraciones letales).

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

C. *Análisis preliminar del riesgo (APR)*

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

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

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

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

*a)* función;

*b)* tipo y magnitud de las cargas;

*c)* importancia con respecto a la seguridad;

*d)* criterios especiales de diseño;

*e)* sistemas de control y alarma;

*f)* sistemas de reducción de la presión;

*g)* válvulas de cierre rápido;

*h)* depósitos o cisternas de acopio o de vertido;

*i)* sistemas de aspersión automática;

*j)* protección contra incendios.

E. *Evaluación del riesgo*

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

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

*a)* métodos utilizados para la evaluación del riesgo, descritos en la subsección 3.1.1;

*b)* las causas de los riesgos que se han de examinar, enumeradas en la sección 3.2, y

*c)* los instrumentos de control de los riesgos de accidentes mayores, que se indican en la subsección 3.3.3.

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

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

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

F. *Organización*

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

*a)* planes de mantenimiento e inspección;

*b)* directrices con respecto a la capacitación del personal;

*c)* asignación y delegación de responsabilidades en relación con la seguridad de la planta;

*d)* aplicación de los procedimientos de seguridad.

G. *Evaluación de las consecuencias de accidentes mayores*

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

*a)* evaluación de los posibles escapes de sustancias peligrosas o de energía;

*b)* posible dispersión de las sustancias liberadas;

*c)* evaluación de los efectos de los escapes (superficie de la zona afectada, efectos sobre la salud, daños causados a los bienes).

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

H. *Información sobre la mitigación de los accidentes importantes*

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

*a)* sistemas de alarma:

*b)* planes de emergencia, y

*c)* servicios de emergencia.

### 3.5.2.3. Comunicación de los accidentes

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

*a)* circunstancias del accidente;

*b)* sustancias peligrosas relacionadas con el accidente;

*c)* datos disponibles para evaluar los efectos del accidente sobre las personas y el medio ambiente;

*d)* medidas de emergencia tomadas.

Además, la notificación debe señalar las medidas previstas para:

*a)* mitigar los efectos en mediano y largo plazo del accidente, y

*b)* prevenir la repetición del accidente.

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

### 3.5.3. Actualización de los informes

Quizás sea necesario actualizar los informes sobre seguridad si:

*a)* se producen cambios importantes en la planta o el proceso;

*b)* se dispone de nueva información pertinente acerca de las sustancias peligrosas, o

*c)* se han conseguido mejoras sustanciales en la ingeniería de la seguridad.

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

# 4. Función de las autoridades

La prevención de los accidentes mayores tal como se describe en el presente manual es fundamentalmente una tarea que ha de cumplir el fabricante que explota una instalación que entraña un riesgo importante. En el marco de un sistema de control de riesgos de accidentes mayores, esta tarea debe ser apoyada y supervisada por las autoridades. Para cumplir sus responsabilidades, las autoridades tienen que llevar a cabo las actividades siguientes.

## 4.1. Establecimiento de un inventario de las instalaciones que presentan alto riesgo

Este manual se ocupa de varias actividades y sustancias industriales potencialmente peligrosas. Las autoridades competentes han de determinar cuáles son las instalaciones que presentan un riesgo importante para establecer un inventario. En el capítulo 2 se describen los procedimientos de identificación. Según el número de las instalaciones identificadas en relación con los recursos de que se dispone, será preciso establecer prioridades para el examen de los informes sobre seguridad y la aplicación de planes de emergencia fuera del emplazamiento. Para ello se deben aplicar los siguientes criterios:

- tipo y cantidades de las sustancias peligrosas manipuladas, y
- emplazamiento de las instalaciones en relación con las zonas pobladas.

Además, puede servir de ayuda examinar cuántos accidentes se han producido en el pasado con esas sustancias. Se dispone de documentación sobre las estadísticas relativas a accidentes (Lees, 1980). Las bases internacionales de datos (por ejemplo, MHIDAS en el Reino Unido) permiten también obtener esta información rápidamente.

## 4.2. Recepción y examen de los informes sobre seguridad

Según las prioridades deducidas del inventario de las instalaciones que presentan riesgos de accidentes mayores, las autoridades habrán de fijar un plazo para la preparación de informes sobre seguridad. Deberá darse tiempo suficiente (por ejemplo, de uno a dos años) para que las plantas existentes preparen estos informes. Una vez examinados los informes, las autoridades habrán de verificar:

- si se han cumplido los requisitos enumerados en el capítulo 3 del presente manual, y
- si la información facilitada es correcta.

La verificación debe abarcar un examen detallado de la información facilitada por escrito, en particular de la evaluación de los riesgos. Debe además incluir una inspección *in situ* de los componentes o procesos indicados en el informe sobre seguridad como «relacionados con la seguridad».

Como parte del informe sobre seguridad se debe describir el plan de emergencia en el emplazamiento y las autoridades deben examinarlo para asegurarse de que es compatible con el plan de emergencia fuera del emplazamiento. En el capítulo 6 del presente manual se dan detalles sobre ambos planes de emergencia.

## 4.3. Mitigación de las consecuencias

Es probable que los planes de emergencia fuera del emplazamiento sean preparados por las autoridades locales. Se establecerán en consulta con el fabricante y entidades como el cuerpo de bomberos, la policía, el servicio de ambulancias, los hospitales, las autoridades encargadas del abastecimiento de agua, los transportes públicos, etc.

El plan de emergencia fuera del emplazamiento debe mantenerse en un estado de alerta; se deben prever actividades de capacitación y ejercicios cuyos detalles figuran en la sección 6.3.

Además de ayudar a los fabricantes a ocuparse de los efectos inmediatos de los accidentes en el lugar donde se producen, los servicios de emergencia deben estar preparados para hacer frente a cualquier posible consecuencia del accidente en la zona circundante. Los efectos fuera del emplazamiento suelen tardar más en producirse y, por consiguiente, dejan cierto tiempo para que se puedan adoptar medidas de previsión. Pueden también proseguir durante un período de varias horas e incluso durante más tiempo y exigen una considerable movilización de recursos para atender a una posible evacuación, la restricción del acceso, el transporte de alimentos y el control del abastecimiento del agua.

## 4.4. Otras funciones

### 4.4.1. Fijación del emplazamiento

Las autoridades han de decidir si ciertas instalaciones que entrañan un riesgo de accidente mayor

deben separarse de la población que vive y trabaja fuera de la instalación. Este aspecto se describe de manera pormenorizada en el apéndice 8.

### 4.4.2. Introducción de un programa de inspección

Tan pronto como se han determinado las prioridades, sobre la base del inventario y de la ubicación de las instalaciones que entrañan un riesgo importante, se necesita un sistema para poner en práctica medidas adicionales de prevención además de las que ya se estén aplicando con respecto a la salud y la seguridad en el lugar de trabajo.

Según la experiencia que tengan de los riesgos de accidentes mayores, las autoridades podrán necesitar:

*a)* la adquisición de conocimientos técnicos suficientes mediante el establecimiento de un grupo de expertos;

*b)* la preparación de listas de verificación para evaluar las medidas de seguridad en los lugares de trabajo;

*c)* la creación de sistemas y programas de inspección para uso de los inspectores de fábrica.

Todas estas tareas se describen de manera más detallada en el capítulo 7.

# 5. Papel de los trabajadores y de las organizaciones de trabajadores

Los trabajadores tienen el papel esencial de hacer funcionar de una manera segura y responsable las plantas que entrañan un riesgo de accidente mayor. Independientemente del empeño que hayan podido poner los proyectistas y constructores de las fábricas de productos químicos, su funcionamiento seguro dependerá del grado de conciencia que tengan los trabajadores con respecto al carácter peligroso de los materiales que están elaborando y almacenando, y de que acepten su responsabilidad en cuanto a la seguridad de la fábrica.

## 5.1. Papel de los trabajadores

Los trabajadores deben cooperar en la aplicación de las medidas de organización y de otro tipo relacionadas con el sistema de control de riesgos de accidentes mayores que se esté utilizando, y participar en ella. Pueden desempeñar un papel activo vigilando constantemente la seguridad de sus lugares de trabajo y el equipo que emplean, y aplicando todas las instrucciones de seguridad y de salud pertinentes a su trabajo. Los trabajadores deben utilizar siempre de manera apropiada todos los dispositivos de salvaguardias y seguridad y otros aparatos de que puedan disponer para su protección o la protección de los demás.

Debe estar claro que ningún trabajador, a menos que esté autorizado, ha de retirar, alterar o desplazar ningún dispositivo de seguridad ni ningún otro aparato de que pueda disponer para su protección o la protección de otros, ni debe interferir con él, y que tampoco debe interferir con ningún método o procedimiento adoptado con miras a evitar accidentes o daños para la salud. Además, los trabajadores no deben manipular indebidamente equipo como los aparatos de control, máquinas, válvulas, tuberías, conductores eléctricos e instrumentos y aparatos que no están autorizados a manejar, mantener o utilizar.

Cualquier defecto encontrado en el curso del trabajo debe comunicarse sin demora a un supervisor competente. Cuando un trabajador tenga razones para creer, por su experiencia laboral, que se ocasionaría un gran riesgo para la vida o la salud si se realizara una tarea que se le ha asignado o que se ha asignado a un colega, debe comunicar inmediatamente sus suposiciones a los supervisores, a los representantes encargados de la seguridad de los trabajadores y a los funcionarios competentes que son responsables de la seguridad y la salud en la fábrica. La cooperación de los trabajadores para hacer frente a esos peligros inminentes es esencial en la prevención de los riesgos de accidentes mayores.

Todos los trabajadores deben estar plenamente informados de manera adecuada del riesgo de accidente grave que entraña su trabajo. La información sobre seguridad y salud debe incluir datos sobre la planificación o modificación de los procedimientos de trabajo o la organización del trabajo.

## 5.2. Papel de las organizaciones de trabajadores

En los planos nacional y de empresa, las organizaciones de trabajadores pueden contribuir considerablemente al establecimiento y aplicación de un sistema de control de riesgos de accidentes mayores. Si se les facilita una información adecuada, pueden participar activamente en el examen de los factores relacionados con los riesgos de accidente y proponer medidas para contrarrestar esos riesgos. Las organizaciones de trabajadores deben seguir creando y promoviendo una toma de conciencia y la adquisición de los conocimientos técnicos entre sus miembros en cuestiones relacionadas con la seguridad de las instalaciones que entrañan un riesgo importante y de las sustancias químicas peligrosas.

Son especialmente importantes las actividades de capacitación organizadas por las organizaciones de trabajadores. Esa capacitación debe fomentar un conocimiento de los principios básicos del control de los riesgos de accidentes mayores, y destacar en particular aspectos concretos de un sistema de control de riesgos de accidentes mayores en el lugar de trabajo. Se debe promover la formación de especialistas sindicales que conozcan los sistemas de control contra los riesgos principales. También es importante la preparación y utilización de materiales de capacitación y de información destinados directamente a los trabajadores y a sus organizaciones.

Deberían celebrarse consultas regulares entre las organizaciones de trabajadores y de empleadores con respecto a la creación y el funcionamiento del sistema de control de los riesgos de accidentes mayores.

# 6. Planificación de emergencia

## 6.1. Introducción

### 6.1.1. Definición

Una emergencia mayor en una fábrica es una situación en que existe la posibilidad de que se causen lesiones graves o la pérdida de vidas humanas. Puede ocasionar daños considerables a los bienes y una fuerte perturbación dentro y fuera de la fábrica. Para hacer frente con eficacia a una situación de este tipo, normalmente hace falta la asistencia de servicios de urgencia exteriores. Aunque la emergencia puede estar provocada por varios factores diferentes, por ejemplo fallos de la fábrica, errores humanos, temblores de tierra, choque de vehículos o un sabotaje, suele manifestarse principalmente de tres maneras: un incendio, una explosión o un escape de sustancias tóxicas.

### 6.1.2. Alcance

Gran parte de lo antes tratado en el presente manual guardaba relación con la prevención de accidentes por medio de un proyecto, funcionamiento, mantenimiento e inspección adecuados. Si se logra todo esto, se reducirá el riesgo de accidente mayor, pero no se eliminará totalmente, ya que la seguridad absoluta no es alcanzable y una parte esencial de un sistema de control de riesgos consiste en la mitigación de los efectos de un accidente grave.

Un elemento importante de la mitigación es la planificación de emergencia, es decir, el reconocimiento de que los accidentes son posibles, la evaluación de las consecuencias de los accidentes y la adopción de los procedimientos de urgencia, tanto en el emplazamiento como fuera del mismo, que sería necesario aplicar de producirse una situación de emergencia.

La planficación de emergencia es sólo un aspecto de la seguridad y no puede considerarse de forma aislada. En particular, no es un sustituto del mantenimiento de normas correctas dentro de la fábrica. Antes de iniciar la preparación del plan, los directores de la fábrica deben velar por que se hayan establecido las normas necesarias, de acuerdo con la legislación sobre seguridad.

En los planes de emergencia es probable que se establezca una diferenciación entre las cuestiones que conciernen al emplazamiento y las relativas a su entorno, pero ambas deben ser coherentes; en otras palabras, deben tener en cuenta las mismas condiciones de urgencia evaluadas. Mientras que un plan para el emplazamiento será siempre responsabilidad de la dirección de la fábrica, diferentes legislaciones pueden atribuir la responsabilidad del plan de fuera del emplazamiento a otros órganos: por ejemplo, la Directiva de Seveso de la Comunidad Europea exige a la autoridad local que prepare el plan de fuera del emplazamiento.

### 6.1.3. Objetivos

Los objetivos generales de un plan de emergencia son los siguientes:

*a)* localizar la emergencia y, de ser posible, eliminarla, y

*b)* reducir al mínimo los efectos del accidente sobre las personas y los bienes.

La eliminación requerirá la pronta actuación de los operarios y del personal encargado de la situación de emergencia en la fábrica que habrá de utilizar, por ejemplo, equipo contra incendios, interruptores de emergencia y vaporizadores de agua.

La reducción al mínimo de los efectos puede incluir actividades de rescate, primeros auxilios, evacuación, rehabilitación y rápida información a la población que vive en los alrededores del emplazamiento.

### 6.1.4. Determinación y evaluación de los riesgos

Esta etapa es esencial para la planificación de emergencia, tanto en el emplazamiento como fuera del mismo, y exige que la dirección de la fábrica determine de manera sistemática qué situaciones de emergencia pueden producirse en sus locales. Estas situaciones varían desde pequeños accidentes a los que puede hacer frente el personal de la fábrica sin ayuda exterior hasta accidentes mayores para los que resulta práctico disponer de un plan. La experiencia ha mostrado que por cada vez que un accidente produce todos sus posibles efectos, hay muchas veces en que suceden accidentes menores o en que se evitan los efectos mayores de un incidente incipiente.

La mayor parte de los accidentes producidos por un riesgo importante corresponden a alguna de las categorías siguientes:

1) *Accidentes que entrañan materiales inflamables*

   *a)* incendios importantes sin peligro de explosión; riesgos de niveles elevados de radiación térmica y humo;

   *b)* incendios que amenazan a partes de la planta

que contienen sustancias peligrosas; riesgo de extensión del incendio, explosión u escape de sustancias tóxicas;

*c)* explosión con escaso aviso previo o sin aviso previo; riesgo de que se produzca una onda de choque, desplazamiento de desechos por el aire y altos niveles de radiación térmica.

2) *Accidentes que entrañan materiales tóxicos*

*a)* escape lento o intermitente de sustancias tóxicas, por ejemplo de una válvula que no cierra bien;

*b)* partes de una planta amenazadas por un incendio (Chemical Industries Association, 1976); riesgo de pérdidas potenciales del contenido;

*c)* escape rápido de duración limitada, debido a un fallo de la fábrica, por ejemplo rotura de tubería; riesgo de nube tóxica, de dimensión limitada, que puede dispersarse rápidamente;

*d)* escape masivo de sustancia tóxica, debido a fallo de un gran recipiente de almacenamiento o de procesamiento o a una reacción química incontrolable y fallo de los sistemas de seguridad; el riesgo de exposición afectaría a una gran área.

La evaluación de los incidentes posibles debe dar origen a un informe en el que se indiquen:

*a)* los peores acontecimientos eventuales;

*b)* la ruta de esos acontecimientos peores;

*c)* el tiempo necesario para reducir la importancia de los acontecimientos;

*d)* la magnitud de los acontecimientos de menor importancia si se detiene su desarrollo;

*e)* la probabilidad relativa de los acontecimientos;

*f)* las consecuencias de cada acontecimiento.

Este informe puede formar parte del informe de evaluación de los riesgos (capítulo 3) o ser un documento separado y elaborado específicamente con miras a la planificación de emergencia.

Los accidentes deben evaluarse en función de la cantidad de materiales peligrosos que pueden liberarse, la tasa de liberación y los efectos del escape – por ejemplo, como radiación térmica de un incendio o bola de fuego o como nube de gas tóxico –, en función de la distancia desde la planta. El cálculo de las consecuencias se examina en el capítulo 1 y las técnicas de evaluación del riesgo se explican en el capítulo 3.

Los efectos de la presión excesiva de la explosión sobre las estructuras se indican en el cuadro 8; los efectos de la radiación térmica sobre la piel no protegida, en el cuadro 9, y los efectos sobre la población de la concentración de gas (con tiempos) con respecto al cloro, el gas tóxico más común, figuran en el cuadro 10. Los datos equivalentes correspondientes a otros gases tóxicos, en los casos en que se usan, son un elemento esencial de cualquier plan de emergencia. **De los suministradores de esas sustancias se deben obtener pautas sobre los peligros de las sustancias peligrosas.**

Esta evaluación general del riesgo principal proporciona el marco para los dos planes de emergencia que se han de establecer.

**Cuadro 8. Efectos de la sobrepresión causada por una explosión sobre estructuras**

| Elemento de estructura | Rotura o daño | Sobrepresión máxima aproximada del lado presente | |
|---|---|---|---|
| | | psi[1] | kPa[1] |
| Cristales de ventanas | 5 por ciento rotas | 0,1-0,15 | 0,7-1 |
| | 50 por ciento rotas | 0,2-0,4 | 1,4-3 |
| | 90 por ciento rotas | 0,5-0,9 | 3-6 |
| Casa | Tejas desplazadas | 0,4-0,7 | 3-5 |
| | Marcos de puertas y ventanas rotos | 0,8-1,3 | 6-9 |
| | Habitables después de la reparación – algunos daños de techos, ventanas y tejas | 0,2-0,4 | 1,4-3 |
| | Daños menores de la estructura, tabiques y marcos arrancados de sus sitios | 0,5-0,9 | 3-6 |
| | Inhabitables: caída parcial o total del techo, demolición parcial de uno o dos muros exteriores, daños importantes de los tabiques que soportan el peso | 2-4 | 14-28 |
| | 50-75 por ciento de ladrillos exteriores destruidos o en situación peligrosa | 5-12 | 35-80 |
| | Demolición casi completa | 11-37 | 80-260 |
| Postes de telégrafos | Destruidos | 10-25 | 70-170 |
| Grandes árboles | Destruidos | 24-55 | 170-380 |
| Vagones de ferrocarril | Al límite del descarrilamiento | 12-27 | 80-190 |

[1] 1 bar = 100 kPa = 14,7 psi.

**Cuadro 9. Efectos de las radiaciones térmicas sobre la piel no protegida**

| Nivel de radiación ($kW/m^2$) | Período de duración, segundos antes: | |
|---|---|---|
| | Se siente el dolor | Empiezan a salir ampollas |
| 22 | 2 | 3 |
| 18 | 2,5 | 4,3 |
| 11 | 5 | 8,5 |
| 8 | 8 | 13,5 |
| 5 | 16 | 25 |
| 2,5 | 40 | 65 |
| Menos de 2,5 | Puede ser tolerada una exposición prolongada | |

**Cuadro 10. Efectos de las concentraciones de gas de cloro (ppm) sobre las personas (1 ppm = 3 $mg/m^3$)**

| Concentración (ppm) | Duración | Efectos |
|---|---|---|
| 3-6 | – | Causa una sensación de picor o quemazón, pero se tolera, sin que se produzca ningún efecto nocivo indebido durante un máximo de 1 hora |
| 10 | 1 min | Tos |
| 10-20 | 30 min | Peligro – irritación inmediata de la nariz, la garganta y los ojos, con tos y lagrimeo |
| 100-150 | 5-10 min | Puede ser letal para las personas más vulnerables |
| 300-400 | 30 min | Concentración media letal previsible del 50 por ciento de las personas sanas |
| 1 000 | Breve (unos pocos instantes) | Probablemente letal |

Se han elaborado técnicas para la determinación y evaluación regulares de los riesgos, que se utilizan rutinariamente en muchos países, en particular durante el examen de un nuevo proyecto. Esas técnicas, conocidas como estudios de los riesgos y la capacidad de funcionar, o más resumidamente con la sigla RYCF, exigen el examen sistemático de las variables adversas del proceso en cada etapa de éste y en cada parte de la planta. A este respecto se dan más detalles en el apéndice 3.

## 6.2. Planificación de emergencia *in situ*

### 6.2.1. Formulación del plan y de los servicios de emergencia

La evaluación de los riesgos y peligros en una fábrica que entraña un riesgo importante induce a que se introduzcan mejoras en la planta, en forma, por ejemplo, de salvaguardias adicionales o de procedimientos perfeccionados, o a que se adopte la decisión de que el riesgo es suficientemente pequeño como para ser aceptado.

El plan de emergencia *in situ* debe tener en cuenta la evaluación final, y su formulación incumbe a la dirección de la fábrica. Por consiguiente, el plan debe estar específicamente concebido para el emplazamiento. En emplazamientos muy sencillos, el plan de emergencia puede consistir simplemente en poner al personal esencial en situación de disponibilidad y en recurrir a él para que preste servicios de emergencia. En los emplazamientos grandes y dedicados a múltiples procesos, el plan puede resultar un documento esencial que ha de incluir los elementos siguientes:

*a)* evaluación de la magnitud y naturaleza de los accidentes previstos y de la probabilidad de que se produzcan;

*b)* formulación del plan y enlace con las autoridades exteriores, con inclusión de los servicios de emergencia;

*c)* procedimientos:

  i) sistema para dar la alarma;

  ii) comunicaciones dentro y fuera de la fábrica;

*d)* nombramiento de personal esencial, con indicación de sus deberes y responsabilidades:

  i) supervisor de los accidentes en la fábrica;

  ii) supervisor principal de la fábrica;

*e)* centro de control de la situación de emergencia;

*f)* medidas adoptadas *in situ*;

*g)* medidas adoptadas fuera del emplazamiento.

El plan debe indicar la forma en que las personas designadas en el lugar del accidente pueden iniciar medidas complementarias, tanto dentro como fuera de la fábrica, en su momento debido. Un elemento fundamental del plan debe ser la adopción de disposiciones con miras a lograr la seguridad de la dependencia afectada, por ejemplo cerrando ésta. En un emplazamiento complejo, el plan debe contener el orden completo en que hace falta llamar al personal esencial de otras secciones o del exterior.

Es particularmente importante que las necesidades del plan en lo que respecta a los recursos de emergencia, tanto de personal como de equipo, sean razonables y se puedan atender con rapidez en caso de producirse una situación de emergencia. La dirección debe examinar si existen recursos suficientes en la fábrica para aplicar el plan con respecto a los diversos accidentes evaluados de forma conjunta con los servicios de emergencia. ¿Se dispone, por ejemplo, de agua suficiente para la refrigeración y, si se aplica con mangueras, se cuenta con suficiente número de personas para manejarlas? ¿Se ha evaluado correctamente la escala temporal? El elemento tiempo es trascendental, pero a menudo no se tiene en cuenta de modo suficiente. Por ejemplo, si han transcurrido quince minutos desde el comienzo del accidente y la llegada de los bomberos, y hacen falta otros quince minutos para que los bomberos y el equipo entren en funcionamiento, ¿los recursos con que cuenta la fábrica podrán contener el accidente entre tanto? Aunque un recipiente grande puede tener pérdidas durante un largo período, un recipiente de cloro de 1 tonelada que deja escapar líquido a pleno caudal a través de una válvula abierta se vaciará en unos diez minutos y una bombona en mucho menos tiempo. Si se pone al descubierto la posibilidad de un escape, las medidas correctivas deben aplicarse con la suficiente rapidez para que valga la pena tomarlas.

El plan necesita tener en cuenta las ausencias debidas a enfermedad y vacaciones y los períodos de cierre de la fábrica, por ejemplo cuando sólo puede estar presente el personal de seguridad: en otras palabras, debe ser aplicable en todas las situaciones en lo que respecta a presencia de personal, etc., que se puedan producir mientras exista el riesgo.

### 6.2.2. Mecanismo de alarma y comunicación

La comunicación es un elemento fundamental para hacer frente a una situación de emergencia. En muchas fábricas existe la práctica de que cualquier empleado puede dar la señal de alarma, con el fin de que resulte posible adoptar medidas de inmediato para controlar la situación.

Los sistemas de alarma varían y dependen de la dimensión de los lugares de trabajo. Debe haber un número adecuado de puntos desde los que sea posible dar la alarma de modo directo, activando una señal audible, o indirecto, por medio de una señal o mensaje enviado a un emplazamiento permanentemente dotado de personal. La alarma debe alertar al supervisor de los accidentes (subsección 6.2.3), el cual habrá de evaluar la situación y aplicar los procedimientos de urgencia adecuados. En zonas en que exista un alto nivel de ruido puede resultar necesario instalar más de un transmisor de alarma audible o luces intermitentes. Las alarmas automáticas resultan apropiadas en algunos lugares.

Se debe disponer de un sistema seguro para informar a los servicios de urgencia tan pronto como se dé la alarma en el lugar. Los detalles de los dispositivos de comunicación se deben decidir localmente; en algunos casos es aconsejable disponer de una línea directa con los bomberos. Puede resultar útil contar con palabras claves predeterminadas para indicar la escala y el tipo de la situación de emergencia.

### 6.2.3. Nombramiento del personal y definición de sus deberes

Para que un plan de emergencia sea eficaz, es necesario que las personas encargadas de un eventual accidente tengan asignadas responsabilidades concretas, a menudo separadas de sus actividades cotidianas. Los dos responsables más importantes son el supervisor del accidente en el lugar y el principal supervisor en el lugar.

El supervisor del accidente en el lugar dirigirá las actividades destinadas a controlarlo. A menudo será la persona encargada de la planta en el momento del accidente y deberá asumir la responsabilidad durante veinticuatro horas cuando se utilice el trabajo por turnos. El supervisor del accidente en el lugar tendrá que adoptar decisiones que entrañarán la posibilidad de que la fábrica vecina participe en una escalada de la situación de emergencia si no se cierra.

Entre las responsabilidades del supervisor del accidente en el lugar cabe mencionar las siguientes:

*a)* evaluación de la magnitud del accidente (con respecto a los servicios de emergencia tanto internos como externos);

*b)* iniciación de los procedimientos de urgencia para velar por la seguridad de los empleados y reducir al mínimo los daños de la fábrica y los bienes y las pérdidas de material;

*c)* dirección de las operaciones de rescate y lucha contra incendios, de ser necesario hasta que lleguen los bomberos;

*d)* búsqueda de las víctimas;

e) organización de la evaluación de los trabajadores no esenciales a las zonas de agrupamiento;

f) establecimiento de un centro de comunicaciones con el centro de control de la situación de emergencia (subsección 6.2.4);

g) asunción de las responsabilidades del supervisor principal del lugar hasta la llegada de éste;

h) prestación de asesoramiento y facilitación de la información necesarios a los servicios de urgencia.

Conviene que el supervisor del accidente en el lugar sea fácilmente reconocible en el escenario del accidente. Para ello, suele llevar un casco y una chaqueta de seguridad característicos, que conocen todos los interesados. Debe distinguirse del equipo que llevan los servicios de urgencia.

El supervisor principal del lugar es elegido a menudo entre los altos cargos de la fábrica y tiene la responsabilidad general de dirigir las operaciones del centro de control de la situación de emergencia después de delegar en el supervisor del accidente en el lugar la responsabilidad del control general.

Entre las responsabilidades específicas del supervisor principal del lugar figuran las siguientes:

a) decidir (si no se ha decidido ya) si existe o es probable que exista una situación de urgencia importante que requiera la actuación de los servicios de urgencia y la aplicación del plan de emergencia fuera del lugar (sección 6.3);

b) ejercer la dirección directa de las operaciones de la fábrica fuera de la zona afectada;

c) examinar y evaluar constantemente los cambios posibles para determinar el curso más probable de los acontecimientos;

d) dirigir el cierre de las plantas y su evacuación, en consulta con el supervisor del accidente en el lugar y del personal esencial;

e) velar por que las víctimas reciban una atención adecuada;

f) establecer el enlace con los funcionarios principales de los servicios de bomberos y de policía y con la inspección de las fábricas;

g) controlar el movimiento del tráfico dentro de los lugares de trabajo;

h) tomar disposiciones para que se lleve un registro de la situación de emergencia;

i) emitir declaraciones autorizadas a los medios de información;

j) supervisar la rehabilitación de las zonas afectadas después de la emergencia.

Aparte de los dos supervisores en el lugar, otros empleados de la fábrica desempeñarán funciones esenciales en la aplicación del plan de emergencia. Entre éstos cabe mencionar los directores de alto nivel de las plantas que no participan directamente en la emergencia, los encargados de prestar los primeros auxilios, el personal de vigilancia de las condiciones atmosféricas, el personal de recepción de las víctimas y el personal encargado de las relaciones públicas que sirve de enlace con los medios de comunicación de masas. Todos estos empleados tienen que estar al corriente del carácter exacto de sus funciones en la etapa de preplanificación de la emergencia.

### 6.2.4. Centros de control de la emergencia

Este centro de control es el lugar desde el que se dirigen y coordinan las operaciones para hacer frente a la emergencia. En ese centro deberán encontrarse el supervisor principal del lugar, el personal esencial y los funcionarios superiores de los servicios de incendios y de policía.

En una pequeña fábrica, el centro de control puede ser una oficina designada para el caso de producirse una situación de emergencia. En las fábricas grandes es aconsejable disponer de un servicio que cumpla fines múltiples. En cualquier caso, sin embargo, el centro debe estar equipado para recibir y transmitir información y órdenes entre el supervisor del accidente y otras partes de la fábrica, así como con el exterior.

En consecuencia, los centros de control de emergencias deben contener, siempre que sea aplicable, lo siguiente:

a) un número suficiente de teléfonos externos; de ser posible, uno de ellos debe aceptar sólo las llamadas hacia afuera, para evitar el atascamiento de las centrales telefónicas durante una situación de emergencia;

b) un número suficiente de teléfonos internos;

c) equipo de radio;

d) un plano de la fábrica que muestre:

   i) las zonas donde se hallan grandes depósitos de materiales peligrosos;

   ii) las fuentes de equipo de seguridad;

iii) el sistema de lucha contra incendios y otras fuentes adicionales de agua;

iv) las entradas del lugar y las carreteras, con inclusión de una información actualizada sobre éstas;

v) los puntos de reunión;

vi) el emplazamiento de la fábrica en relación con la comunidad circundante;

vii) los parques para vehículos y los apartaderos ferroviarios;

(se debe disponer de planos adicionales de la fábrica que indiquen las zonas afectadas, etc., durante una situación de emergencia)

e) cuadernos, plumas y lápices;

f) una lista nominativa de los empleados;

g) una lista de los empleados esenciales, con su dirección, número de teléfono, etc.

El centro de control de emergencia debe estar emplazado en una zona de riesgo mínimo. Para lugares grandes, o cuando se prevea el escape de sustancias tóxicas, debe pensarse en la conveniencia de establecer dos centros de control para que, en la medida de lo posible, se pueda utilizar siempre uno si el otro quedara fuera de servicio.

### 6.2.5. Medidas que se han de adoptar en el lugar

El propósito principal de un plan de emergencia en el lugar es controlar y contener el accidente con el fin de impedir que se extienda a la fábrica vecina. No es posible prever todas las eventualidades en el plan, y el control adecuado de la situación de emergencia dependerá de que se adopten medidas y decisiones apropiadas en el lugar mismo. Entre otros aspectos importantes que es necesario examinar, cabe mencionar los siguientes:

a) *Evacuación.* El personal no esencial debe evacuarse del lugar del accidente y de las zonas adyacentes. La evacuación debe dirigirse a un punto de reunión predeterminado en un lugar seguro de la fábrica. En algunos casos, cuando existe la posibilidad de escapes de sustancias tóxicas, será preciso disponer de otros puntos de reunión para tener en cuenta los efectos de la dirección del viento. Los puntos de reunión tienen que estar claramente marcados. El plan debe designar a alguien para que anote a todos los empleados que llegan al punto de reunión, con el fin de que se pueda transmitir la información al centro de control de emergencia.

b) *Anotación del número de empleados.* Conviene poder conocer el número de empleados durante una situación de emergencia, pero esto puede resultar particularmente difícil. Debido a los visitantes, contratistas, cambios de turnos, vacaciones y ausencias por enfermedad, no suele ser práctico llevar una lista detallada del personal en el lugar en un momento dado. Habitualmente se llevan listas nominales, que pueden actualizarse durante la primera etapa de una emergencia. Se deben mantener listas detalladas de los contratistas del lugar y listas análogas de visitantes.

En el centro de control de la emergencia, una persona designada para ello debe cotejar las listas de los empleados que llegan a los puntos de reunión con las de las personas afectadas por el accidente. Esas listas se deben luego cotejar con la lista nominal de las personas que se cree están en el lugar, actualizada con los cambios conocidos correspondientes a ese día. Si es posible que las personas faltantes hayan estado en la zona de la emergencia, debe informarse de ello al supervisor del accidente y deben adoptarse disposiciones para organizar una búsqueda más a fondo.

c) *Acceso a los registros.* Esto será necesario para poder informar rápidamente a los pacientes de cualquier víctima. Se sugiere que en el centro de control de emergencia se lleven listas con los nombres y direcciones del personal de la fábrica. Estas listas tendrán que actualizarse con regularidad para tomar en cuenta los cambios de personal, dirección, pariente más próximo, etc.

d) *Relaciones públicas.* Cualquier accidente atraerá el interés de los medios de comunicación de masas y es probable que un accidente importante sea ampliamente divulgado por la radio y la televisión. A menos que se adopten disposiciones apropiadas, esto puede apartar a cierto personal de la tarea de hacer frente a la emergencia. Es esencial que se adopten medidas para la divulgación autorizada de información durante cualquier emergencia de duración considerable, y se debe designar a un alto cargo o un miembro del personal como única fuente de esa información. Las solicitudes de información dirigidas a otros empleados se deben transmitir a esta persona designada.

e) *Rehabilitación.* La situación de emergencia continuará hasta que se hayan extinguido todos los incendios y no haya riesgo de nueva inflamación o, en lo que a los escapes de gas se refiere, cuando el escape se haya detenido y la nube de gas se haya dispersado sin peligro. Incluso entonces hace falta actuar con prudencia al volver a entrar en la zona del accidente. La inspección de fábricas local quizás considere oportuno iniciar una investigación y debe ser consultada con respecto al acopio de pruebas antes de que éstas se alteren.

### 6.2.6. Planificación de los procedimientos de cierre

Para todo emplazamiento único de una fábrica, los procedimientos de cierre deben ser comparativamente sencillos, sin que se produzca ningún otro trastorno en los demás lugares del emplazamiento. En los emplazamientos complejos, tales como las grandes fábricas de productos petroquímicos o las refinerías, las actividades de la planta están a menudo interrelacionadas y el cierre de cualquier planta esencial del emplazamiento (por ejemplo, una central eléctrica) puede tener considerables repercusiones en otras plantas. Los planes de emergencia han de tener en cuenta este aspecto para que se efectúen cierres ordenados y graduales, cuando sea necesario, según el tipo del accidente producido.

### 6.2.7. Ensayo de los procedimientos de emergencia

Una vez que ha quedado terminado el plan de emergencia, se debe dar a conocer a todo el personal para que cada empleado sepa su función si se produjera una emergencia. Es esencial poner el plan a prueba con regularidad, porque sólo por medio de esos ensayos se advertirán sus defectos. El plan se puede poner a prueba de diferentes maneras. La comunicación es un componente esencial para manejar una situación de emergencia, por lo que se deberá hacer un ensayo del sistema de comunicaciones, con inclusión de las medidas que se han de adoptar si parte del sistema (por ejemplo, los teléfonos) resulta inutilizable. Se deben realizar con regularidad ensayos de evacuación que ocasionen la mínima perturbación posible a las actividades normales. También será preciso efectuar ejercicios más elaborados, con la participación de los servicios de emergencia cuando éstos formen parte del plan de emergencia.

Muchas organizaciones utilizan ejercicios teóricos para poner a prueba sus planes de emergencia. Estos son muy eficaces en función de los costos porque no interrumpen el funcionamiento diario de la planta y porque es posible «disponer» la organización del ejercicio para una variedad de dificultades que pueden surgir y que requerirán la adopción de decisiones sobre la marcha. Ejercicios completos, con un marco de ensayo realista, serán asimismo necesarios para complementar los ejercicios teóricos.

### 6.2.8. Evaluación y actualización del plan

Los ensayos y los ejercicios de los planes de emergencia han de ser supervisados por observadores que no participen en el ejercicio, y que de preferencia sean independientes del lugar, por ejemplo funcionarios superiores de los servicios de emergencia o de la inspección de fábricas. Después de cada ejercicio, el plan debe revisarse a fondo para tener en cuenta las omisiones o los defectos. Los planes de emergencia, particularmente para los emplazamientos complejos, son objeto de un perfeccionamiento y una actualización constantes, pero conviene que cualquier cambio de fondo se ponga en conocimiento de las personas que es probable participen en esa parte del plan, si se llega a utilizar para una situación de emergencia real.

## 6.3. Planificación de emergencia fuera del emplazamiento

### 6.3.1. Introducción

La planificación de emergencia fuera del emplazamiento forma parte integrante de cualquier sistema de control de cualquier riesgo de accidente mayor. Debe basarse sobre los accidentes señalados por la dirección de la fábrica que pudieran afectar a las personas y al medio ambiente de fuera de la fábrica. Por consiguiente, el plan de fuera de la fábrica se deduce lógicamente del análisis efectuado para proporcionar la base del plan del emplazamiento y, por tanto, ambos planes deben complementarse en forma recíproca. El plan detallado de fuera del emplazamiento debe fundarse en los accidentes con mayor probabilidad de ocurrencia, pero también deben tomarse en consideración otros acontecimientos menos probables que podrían tener consecuencias graves. Los accidentes con consecuencias muy graves pero muy poco probables entrarán en esta categoría, aunque existen algunos acontecimientos que son tan improbables que no sería razonable examinarlos en detalle en el plan. Uno de estos accidentes sería, por ejemplo, la caída de un avión

sobre la instalación. Sin embargo, la característica esencial de un buen plan de emergencia fuera del emplazamiento es la flexibilidad en su aplicación a otras situaciones de emergencia no incluidas específicamente en la formación del plan.

A continuación se describen las funciones de las diversas personas que pueden participar en la aplicación de un plan de fuera del emplazamiento. Según las disposiciones nacionales del país de que se trata, es probable que la responsabilidad del plan de fuera del emplazamiento incumba a la dirección de la fábrica o, como en el caso de la legislación de la Comunidad Europea, a las autoridades nacionales. En ambas situaciones, el plan debe designar a un coordinador de emergencia (subsección 6.3.3), el cual se hará cargo de la dirección general de las actividades fuera del emplazamiento. Como sucede con el plan del emplazamiento, hará falta un centro de control de emergencia desde el que actuará el coordinador de ésta.

En numerosos casos hará falta adoptar una rápida decisión sobre los consejos que se han de dar a las personas que viven «dentro de la zona a que se extiende el accidente», en particular si han de ser evacuadas o si se les debe ordenar que permanezcan en su casa. En este último caso, la decisión se debe revisar con regularidad, de producirse una agravación del accidente. El examen de la conveniencia de la evaluación debe incluir los factores siguientes:

*a)* si se tratara de un incendio grave, pero sin riesgo de explosión (por ejemplo, un depósito de almacenamiento de petróleo), probablemente bastará con evacuar las casas que están cerca del incendio, aun cuando el riesgo de humo grave puede exigir que esta decisión se revise con periodicidad;

*b)* si un incendio se extiende y llega a amenazar un almacén de materiales peligrosos, podría resultar necesario evacuar a las personas que viven cerca, pero sólo si hay tiempo para ello; si no se cuenta con tiempo suficiente, debe aconsejarse a las personas que permanezcan en su casa y que se pongan al abrigo del incendio. Este último caso se aplica en particular si la instalación que corre peligro puede producir una bola de fuego con efectos de radiación térmica muy graves (por ejemplo, almacenamiento de gas licuado de petróleo);

*c)* con respecto a los escapes o escapes potenciales de materiales tóxicos, puede resultar oportuna una evacuación limitada a favor del viento, si hay tiempo para ello. La decisión dependerá en parte del tipo de viviendas «en peligro». Las viviendas tradicionales o las construcciones sólidas con ventanas cerradas ofrecen una protección considerable contra los efectos de una nube tóxica, mientras que las casas precarias o chabolas que pueden existir cerca de las fábricas, particularmente en los países en desarrollo, ofrecen una protección escasa o nula.

La principal diferencia entre los escapes de materiales tóxicos y de materiales inflamables es que las nubes tóxicas suelen ser peligrosas en niveles muy inferiores de concentración y, consecuentemente, a distancias mucho mayores. Por otro lado, una nube tóxica que se desplaza a, digamos, 300 metros por minuto abarca una gran superficie de terreno con mucha rapidez. Cualquier consideración de la conveniencia de una evacuación debe tener esto en cuenta.

Aunque un plan debe prever la suficiente flexibilidad a fin de cubrir las consecuencias de los diversos accidentes previstos con respecto al plan para el emplazamiento, se sugiere que trate con cierto detalle el manejo de la situación de emergencia a una distancia particular de cada una de las fábricas que entrañan un riesgo de accidente mayor. Esta distancia se puede considerar análoga a la distancia de la zona de separación (apéndice 8) o a la distancia de información al público (subsección 7.3.11).

### 6.3.2. Aspectos que se han de incluir en un plan de emergencia para fuera del emplazamiento

Se indican las pautas de la Dirección de Salud y Seguridad del Reino Unido sobre algunos de los aspectos que se han de incluir en los planes de emergencia de fuera del emplazamiento.

*Organización*

Detalles de la estructura del órgano de dirección, sistemas de alarma, procedimientos de aplicación, centros de control de emergencia.
Nombres y nombramientos del supervisor del accidente, del supervisor principal del emplazamiento, de sus adjuntos y de otros empleados esenciales.

*Comunicaciones*

Determinación del personal responsable, centro de comunicaciones, señales de llamada, red, listas de números de teléfonos.

*Equipo de emergencia especializado*

Detalles de la disponibilidad y ubicación de los aparatos elevadores de cargas pesadas, tractores niveladores, equipo contra incendios especificado, lanchas contra incendios.

*Conocimientos especializados*

Detalles de los órganos, empresas y personas especializados a quienes podrá resultar necesario llamar, por ejemplo entidades o expertos con conocimientos químicos especiales, laboratorios.

*Organizaciones benévolas*

Detalles de los organizadores, números de teléfono, recursos, etc.

*Información química*

Detalles sobre las sustancias peligrosas almacenadas o procesadas en cada emplazamiento y resumen de los riesgos que entrañan.

*Información meteorológica*

Dispositivos para obtener detalles de las condiciones climatológicas imperantes en el momento y previsiones meteorológicas.

*Disposiciones humanitarias*

Transporte, centros de evacuación, alimentación de urgencia, tratamiento de los heridos, primeros auxilios, ambulancias, depósitos provisionales de cadáveres.

*Información pública*

Disposiciones adoptadas para: *a)* tratar con los medios de comunicación de masas – oficina de prensa; *b)* información a los familiares, etc.

*Evaluación*

Disposiciones relativas a: *a)* la recopilación de información sobre las causas de la emergencia; *b)* el examen de la eficiencia y la eficacia de todos los aspectos del plan de emergencia.

### 6.3.3. Función del coordinador de la emergencia

Los diversos servicios de emergencia serán coordinados por un coordinador de emergencia (CE) que probablemente sea un funcionario superior de policía, pero que, según las circunstancias, podría ser un funcionario superior del cuerpo de bomberos. El CE establecerá un estrecho enlace con el supervisor principal del emplazamiento. Dependiendo igualmente de las disposiciones locales, en los casos de accidentes muy graves con consecuencias importantes o prolongadas fuera del lugar, el control externo puede pasar a manos de un administrador de categoría superior de las autoridades locales o incluso de un administrador designado por el gobierno central o estatal.

### 6.3.4. Función de los directores de fábricas que entrañan alto riesgo

Esta función variará según las circunstancias del país de que se trate. Cuando las autoridades nacionales (subsección 6.3.5) disponen de una organización para formular el plan, la función de la dirección de las fábricas en la planificación de emergencia para fuera del emplazamiento consistirá en establecer un vínculo con los que están preparando los planes y en proporcionar la información apropiada para esos planes. Esa información incluirá una descripción de los posibles accidentes en el lugar con capacidad potencial para causar daños fuera del lugar, junto con sus consecuencias y una indicación de la probabilidad relativa de los accidentes.

Las direcciones de las fábricas deben proporcionar asesoramiento a todas las organizaciones externas que puedan participar en el manejo de la situación de emergencia fuera del lugar y que tendrán necesidad de haberse familiarizado previamente con algunos de los aspectos técnicos de las actividades de las fábricas, por ejemplo los servicios de urgencia, los departamentos médicos y también las autoridades encargadas del suministro de agua (si un accidente puede provocar la contaminación del agua).

### 6.3.5. Función de las autoridades locales

En muchos países, la responsabilidad de preparar el plan para fuera del emplazamiento incumbe a las autoridades locales. Esas autoridades pueden haber designado a un planificador de emergencia (PE) para que desempeñe esta función como parte de la preparación con respecto a todo un conjunto de emergencias diferentes dentro de la jurisdicción de las autoridades locales. El PE tendrá que estar en contacto con la fábrica a fin de obtener la información necesaria para proporcionar la base del plan. Este contacto tendrá que mantenerse para que el plan esté siempre al día.

Al PE le incumbirá velar por que todas las organizaciones que vayan a participar fuera del lugar en el manejo de la emergencia conozcan su papel y puedan

aceptarlo por contar, por ejemplo, con un personal suficiente y un equipo apropiado para cumplir sus responsabilidades particulares.

Los ensayos con respecto a los planes de fuera del emplazamiento son importantes por las mismas razones que los relativos a los planes del emplazamiento (sección 6.2) y tendrán que ser organizados por el PE.

### 6.3.6. Función de la policía

El control general de una emergencia suele ser asumido por la policía, y se designá a un funcionario superior de este cuerpo como coordinador de la emergencia (subsección 6.3.3).

Entre los deberes oficiales de la policía durante una situación de emergencia, cabe mencionar la protección de la vida y los bienes y el control del tráfico.

Sus funciones incluyen el control de los espectadores, la evaluación del público, la identificación de los muertos y el tratamiento de los heridos y la información a las familiares de las personas fallecidas o lesionadas.

### 6.3.7. Función de las autoridades encargadas de la lucha contra incendios

La dirección de la lucha contra incendios es normalmente responsabilidad del funcionario superior del cuerpo de bomberos, el cual sustituirá, a su llegada al lugar, al supervisor del accidente en el emplazamiento en el control contra el incendio. El funcionario superior del cuerpo de bomberos puede tener también una responsabilidad análoga con respecto a otros accidentes, como las explosiones o los escapes de sustancias tóxicas. Las brigadas de bomberos en cuya jurisdicción existan fábricas que entrañen riesgos de accidentes mayores deben estar familiarizadas con el emplazamiento en el lugar de todos los almacenes de materiales inflamables, los puntos de abastecimiento de agua y espuma y el equipo de lucha contra incendios. Asimismo, quizás deban asistir a los ensayos de emergencia en el lugar como participantes y, a veces, como observadores de los ejercicios ejecutados únicamente por el personal del emplazamiento.

### 6.3.8. Función de las autoridades sanitarias

Las autoridades sanitarias, incluidos los doctores, cirujanos, hospitales, ambulancias, etc., tienen una función esencial que desempeñar a raíz de un accidente mayor y deben formar parte integrante de cualquier plan de emergencia.

En los incendios importantes, las lesiones serán provocadas por los efectos de la radiación térmica en diverso grado, y en general la mayor parte de los hospitales disponen de los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para ocuparse de estos casos, con excepción de los más graves. En cuanto a los escapes importantes de sustancias tóxicas, sus efectos varían según la sustancia química de que se trate, y conviene que las autoridades sanitarias que puedan tener que intervenir después de producirse el escape de una sustancia tóxica conozcan el tratamiento adecuado de las lesiones posibles.

Es probable que los accidentes graves fuera del emplazamiento requieran un equipo y unas instalaciones médicos adicionales a los que están disponibles localmente y debería existir un plan «de ayuda mutua» médica para obtener la asistencia de las autoridades vecinas al producirse una situación de emergencia.

### 6.3.9. Función de las autoridades estatales de seguridad

En la mayor parte de los países, estas autoridades están constituidas por la inspección de las fábricas. Es probable que los inspectores deseen verificar por sí mismos que la organización responsable de la elaboración del plan de fuera del emplazamiento ha adoptado las disposiciones adecuadas para hacer frente a situaciones de emergencia de todo tipo, incluidas las emergencias graves. Quizás deseen comprobar, asimismo, que se han establecido procedimientos bien documentados y que se han realizado ejercicios para poner a prueba el plan.

Al producirse un accidente, se aplicarán las disposiciones locales con respecto a la función de la inspección de fábrica. Estas disposiciones varían desde mantener una breve vigilancia hasta una estrecha participación en forma de asesoramiento sobre las operaciones. Cuando haya habido un escape de gases tóxicos, la inspección de fábrica puede ser el único organismo externo dotado de equipo y recursos para realizar pruebas.

Después de un accidente, los inspectores de fábrica pueden desear comprobar que las zonas afectadas se han rehabilitado con seguridad. Además, es posible que requieran el embargo de elementos de la planta y del equipo esenciales para cualquier investigación posterior

a fin de que sean analizados por expertos, y tal vez quieran también entrevistar a testigos tan pronto como sea posible.

## 6.4. Ensayos y ejercicios en la planificación de emergencia fuera del emplazamiento

La amplia experiencia acumulada en la industria de productos químicos con la planificación de emergencia fuera del emplazamiento ha demostrado la necesidad y el valor de los ensayos de procedimientos de emergencia.

La organización responsable de elaborar el plan de fuera del emplazamiento debe poner a prueba sus disposiciones de forma conjunta con ejercicios *in situ*. Los ensayos teóricos han resultado muy útiles en esos casos, aunque requieren un meticuloso control para mantener un elemento suficiente de realismo en los ejercicios.

Un componente esencial de cualquier ensayo es que ponga plenamente a prueba los diversos vínculos de comunicación necesarios para reunir la información requerida en una coordinación general, por ejemplo entre la fábrica y los servicios de emergencia y entre el centro de supervisión de la emergencia de la fábrica y el lugar del accidente.

Los órganos de dirección de las fábricas que entrañan un riesgo de accidente mayor están bien situados para asesorar sobre la organización de ensayos y, en particular, para asesorar sobre el alcance de una agravación de la situación de emergencia.

# 7. Aplicación de los sistemas de control de riesgos de accidentes mayores

## 7.1. Introducción

Aunque el almacenamiento y la utilización de grandes cantidades de materiales peligrosos son bastante generales en muchos y quizás en la mayoría de los países del mundo, los sistemas actuales para su control difieren sustancialmente de un país a otro. Estos sistemas varían desde regímenes de inspección y aplicación de las normas muy perfeccionados, por un lado, que exigen la atención coordinada de muchas autoridades diferentes en los planos local y nacional, hasta programas de inspección limitados, por el otro, que a menudo se concentran en la integridad estructural de los edificios y que excluyen los aspectos de las operaciones que entrañan riesgos importantes.

Esta amplia variabilidad de sistemas de control implica que la rapidez de aplicación de un sistema de control de riesgos de accidentes mayores dependerá de los servicios e instalaciones ya existentes en cada país, en particular con respecto a los inspectores de fábrica capacitados y experimentados, junto con los recursos de que se pueda disponer en los ámbitos local y nacional con respecto a los diferentes componentes del sistema de control descrito en el presente manual.

En todos los países, sin embargo, la aplicación requerirá el establecimiento de prioridades de un programa etapa por etapa. Cuando las disposiciones de prevención existentes sean reducidas, es esencial que el programa previsto no trate de ir demasiado lejos y demasiado pronto. La experiencia ha demostrado que esto provoca con facilidad un desplazamiento del tiempo previsto para alcanzar las metas, con la consiguiente desmoralización general.

## 7.2. Determinación de riesgos de accidentes mayores

Este es el punto de partida esencial para cualquier sistema de control de riesgos de accidentes mayores, cuya definición constituye ya de por sí un riesgo importante. Cualquier lista que se establezca debe ser clara y no prestarse a ambigüedades para que todas las organizaciones participantes en la aplicación de los diversos componentes de un sistema puedan establecer con rapidez qué lugares de trabajo entran en la definición y cuáles no.

Aunque existen definiciones en algunos países, y particularmente en la CEE, la definición de un determinado país con respecto a un riesgo de accidente mayor debe reflejar las prioridades y prácticas nacionales, y en especial el modelo industrial de ese país. No sería conveniente, por ejemplo, incluir en el ámbito de aplicación más lugares de trabajo de aquellos para los que las autoridades encargadas de la prevención disponen de recursos.

Cualquier definición destinada a determinar los riesgos principales abarcará con probabilidad una lista de materiales peligrosos, designados por su nombre específico o por categorías generales, junto con un inventario de cada uno de ellos, de modo que cualquier fábrica que almacene o utilice cantidades que superen a las indicadas será por definición una fábrica que entraña riesgos importantes.

Una vez completada la definición, la etapa siguiente consiste en determinar dónde existen fábricas que entrañen riesgos importantes en cualquier región o país determinado. Si la definición se ha recogido en la legislación, las fábricas que entran en su ámbito pueden tener la obligación de notificar su actividad a las autoridades encargadas del control.

No obstante, si un país desea determinar los trabajos que entrañan un riesgo importante antes de que se promulgue la legislación necesaria, se pueden lograr considerables progresos de forma no oficial, particularmente si se cuenta con la cooperación de la industria. Fuentes existentes, como los registros de la inspección de fábricas, la información procedente de los órganos industriales, etc., permiten confeccionar una lista provisional que, además de su utilidad para establecer las primeras prioridades de la inspección, permitirá evaluar los recursos necesarios en diferentes partes del sistema de prevención. Esas disposiciones provisionales deberían ser confirmadas de modo legal tan pronto como sea posible.

## 7.3. Establecimiento de prioridades

### 7.3.1. Creación de un grupo de expertos

En los países que consideran la conveniencia de establecer un sistema de control de los riesgos de accidentes mayores por primera vez, es probable que una importante etapa inicial sea la creación de un grupo de expertos como una dependencia especial en el nivel del gobierno. Esa dependencia debe estar constituida principalmente por ingenieros capacitados (en particular ingenieros químicos), químicos y físicos, y debe tener por cometido asesorar a las autoridades públicas, a la

dirección de las empresas, a los sindicatos, a las autoridades locales, a las inspecciones de fábrica, etc., sobre todos los aspectos del establecimiento de un sistema de control. Cuando no se cuente de inmediato con expertos, será necesario considerar la posibilidad de destacar expertos de la industria, las universidades o los servicios de consultoría, posiblemente a tiempo parcial, para que coadyuven en esta importante tarea.

Cuando los recursos de que se dispone para un nuevo trabajo que entraña riesgos importantes son muy limitados, conviene no dispersar este esfuerzo destacando expertos de una base central para que trabajen en zonas que se les designen. En general, es preferible mantener juntos los recursos como una dependencia de expertos en que los miembros pueden trabajar como equipo y agrupar sus experiencias individuales.

El grupo tendrá que establecer prioridades al decidir su programa de trabajo inicial. Después de haber establecido definiciones de los riesgos principales y una vez señaladas las fábricas que los entrañan, esos datos se podrán cotejar en el nivel nacional, y asignar las principales prioridades a los riesgos de accidentes mayores que aparecen con más frecuencia (y que probablemente estarán representados por el cloruro amónico y el gas licuado de petróleo).

Se puede solicitar al grupo que capacite a los inspectores de fábrica en las técnicas de inspección de los riesgos principales, con inclusión de las normas de funcionamiento en esas fábricas. Necesitarán estar familiarizados con los métodos de evaluación de los riesgos principales (por ejemplo, los estudios sobre el riesgo y la capacidad de funcionamiento) y poder asesorar a las autoridades centrales y locales y a la industria, cuando estén examinando el establecimiento de proyectos nuevos o modificados y de planes de emergencia.

Deben también estar en condiciones de proporcionar asesoramiento acerca del emplazamiento de nuevas fábricas que entrañan riesgos importantes y del uso del terreno circundante, por ejemplo para crear zonas residenciales.

Tendrán que establecer contactos en otros países para mantenerse al día acerca de la evolución de los riesgos principales, la aparición de nuevas tecnologías y los cambios legislativos.

### 7.3.2. Planificación de emergencia en el lugar

En la sección 6.2 se hace una descripción más completa de la planificación de emergencia en el lugar. La planificación de emergencia en el lugar no debe limitarse a las fábricas que entrañen un riesgo importante, sino que resulta apropiada para todo un conjunto de actividades de almacenamiento de materiales peligrosos en cantidades más pequeñas. Es probable que este aspecto haya sido reconocido ya por la dirección de las fábricas que entrañan riesgos importantes como un elemento que requiere atención prioritaria. La legislación vigente puede exigir que se hayan elaborado planes de emergencia como parte de la función general de garantizar un funcionamiento seguro. Cuando esto no sucede, debe ponerse rápidamente remedio.

Los planes de emergencia requieren que se efectúe una evaluación de las fábricas con respecto al conjunto de accidentes que podrían producirse, y una indicación de cómo se ha hecho frente a ellos en la práctica. Para combatir esos accidentes potenciales se necesitará personal y equipo, y conviene efectuar una verificación para estar seguro de que se dispone de ambos en cantidad suficiente.

Una vez establecido el plan, es esencial efectuar ensayos con prontitud para poner al descubierto sus deficiencias (particularmente en la cadena de comunicación) y rectificarlas.

### 7.3.3. Planificación de emergencia fuera del lugar

En la sección 6.3 se hace una descripción más completa de la planificación de emergencia fuera del lugar. Esta es una esfera que ha recibido menos atención que la planificación de emergencia en el lugar, y en muchos países será la primera vez que se estudie la conveniencia de establecerla.

Se puede obtener asesoramiento de los países de la Comunidad Económica Europea, que imponen la obligación de realizar una planificación fuera del lugar para todas las grandes fábricas que entrañan riesgos importantes. En este caso, se impone a la autoridad local el deber de establecer el plan sobre la base de la información obtenida de las fábricas acerca de los accidentes evaluados y de sus consecuencias.

En algunos países puede ser más apropiado que las fábricas asuman esta función en lugar de la autoridad local, porque es en la dirección de las fábricas donde se

dispone de conocimientos técnicos, a menudo con el apoyo de una organización multinacional.

El plan de emergencia fuera del lugar tendrá que hacer una relación entre los posibles accidentes señalados por las fábricas, la probabilidad prevista de que ocurran y la proximidad de las personas que viven y trabajan en los alrededores. Debe abordar la necesidad de evacuación y la forma en que se podría efectuar, teniendo en cuenta que las viviendas tradicionales de construcción sólida ofrecen una protección considerable contra las nubes de gases tóxicos, mientras que las viviendas endebles, las barracas o las chabolas son vulnerables a esos accidentes, y recordando asimismo que a menudo se carece del tiempo necesario para proceder a una evacuación generalizada.

Por último, el plan de emergencia debe indicar las organizaciones a las que se solicitará ayuda en caso de producirse una emergencia, y debe asegurarse de que conocen la función que se espera de ellas: los hospitales y el personal médico deben, por ejemplo, haber determinado cómo podrían atender a un gran número de víctimas y, en particular, qué tratamiento les darían. Esto es especialmente importante para los accidentes producidos por gases tóxicos menos conocidos.

El plan de emergencia fuera del lugar tendrá que ponerse a prueba; en la sección 6.3 se dan detalles más completos al respecto.

### 7.3.4. Fijación del emplazamiento

La base que justifica la necesidad de una política de fijación del emplazamiento con respecto a las fábricas que entrañan peligros importantes es evidente: como no se puede garantizar la seguridad absoluta, las fábricas que entrañen un peligro importante deben separarse de la población que vive y trabaja fuera de la fábrica. La aplicación de esta política es más difícil y constituye quizás el componente de un sistema de prevención que resulta más complicado aplicar.

En el apéndice 8 se examina este aspecto de manera más pormenorizada y se indican las distancias de separación sugeridas para algunos materiales peligrosos típicos. Es probable que el asesoramiento del grupo de expertos (subsección 7.3.1) resulte esencial para lograr avances en este sector.

Como primera prioridad, sería apropiado concentrar los esfuerzos en las nuevas fábricas propuestas que entrañan riesgos importantes y tratar de prevenir la invasión de barrios residenciales, y particularmente de barrios pobres, rasgo común de muchos países.

Es probable que esta zona requiera una legislación específica, aunque en algunos países se está estudiando la conveniencia de exigir a los constructores de fábricas nuevas que compren terrenos adicionales equivalentes a la distancia de separación para que puedan mantener el control del terreno e impedir intrusiones. Este es un sector de la política que dependerá de las circunstancias y las prácticas locales.

Es sumamente importante recordar que si las distancias de separación recomendadas no se pueden respetar en la práctica, habrá que garantizar una protección sustancial mediante la aplicación de distancias algo más cortas, aunque es evidente que en este caso la protección será menor que si se respetan las distancias totales indicadas.

### 7.3.5. Capacitación de los inspectores de fábrica

Es probable que la función de los inspectores de fábrica sea esencial en muchos países para aplicar el sistema de control contra riesgos de accidentes mayores. Esos inspectores pueden tener la facultad de conceder la licencia a la fábrica antes de que comience a funcionar y de inspeccionarla con posterioridad. Los inspectores de fábrica deberán poseer los conocimientos teóricos que les permitan identificar pronto los riesgos principales de posible ocurrencia (sección 7.2).

Cuando se puede recurrir a inspectores especializados, los inspectores de fábrica serán secundados en los aspectos a menudo sumamente técnicos de la inspección de las fábricas que entrañan riesgos importantes. En muchos países, sin embargo, los inspectores especializados son escasos y los inspectores con calificación académica no directamente relacionada con este trabajo habrán de efectuar inspecciones complejas. El grado de éxito que logren determinará en gran medida el éxito del control de riesgos de accidentes mayores en su país.

Los inspectores habrán de tener una formación adecuada que facilite su trabajo. Las becas para visitar y trabajar con inspectores de fábrica más experimentados de otros países han resultado muy exitosas, pero este sistema puede resultar caro, aunque sea eficaz en general en función de los costos.

El grupo de expertos (subsección 7.3.1) tendrá un importante papel que desempeñar en la organización de

los cursos de formación de los inspectores, sea centralmente o en las regiones. Como medida provisional, el grupo podría establecer listas de verificación de inspección con respecto a los materiales peligrosos más comúnmente utilizados y destinarlas a los inspectores como parte de sus deberes de aplicación.

Es probable que la propia industria sea la principal fuente de conocimientos técnicos en muchos países y pueda proporcionar asistencia en la formación de los inspectores de fábrica, por ejemplo, conjuntamente con sus propios programas de capacitación interna.

### 7.3.6. Preparación de listas de verificación

Una lista de verificación es uno de los instrumentos más útiles para determinar los riesgos. Al igual que un código de prácticas, es un medio de transmitir una experiencia esforzadamente adquirida a usuarios menos experimentados. Estas listas son aplicables a los sistemas de gestión en general y a un proyecto a lo largo de todas sus etapas, partiendo con la verificación de las propiedades y características del proceso de los materiales básicos, pasando por la verificación de un diseño detallado y acabando con la comprobación de las operaciones.

Una lista de verificación debe utilizarse como comprobación final de que no se ha descuidado nada (como la que utilizan los pilotos antes del despegue).

Aun cuando no se establecen en general para este fin, las listas de verificación pueden ser utilizadas por los inspectores de fábrica que están adquiriendo experiencia en nuevas tecnologías (subsección 7.3.5), pero esto debe hacerse con cautela.

Para que una lista de verificación sea eficaz, debe ser utilizada y mantenida al día. En los dos extremos, existe el peligro de olvidarlas en un archivo o de adherirse ciegamente a una lista de verificación que ha quedado superada por una nueva tecnología. Es preciso evitar firmemente ambas tendencias.

Se dispone de libros de consulta detallados con respecto a toda una gama de listas de verificación, con inclusión de los sistemas de gestión, el emplazamiento de la planta, la disposición de la planta, las propiedades físicas y químicas, el diseño de los procesos, las precauciones contra incendios, la capacitación y las investigaciones de los incidentes (Lees, 1980).

### 7.3.7. Inspección de las instalaciones por los inspectores de fábrica

La presente sección describe los aspectos que han de tener en cuenta los inspectores en las fábricas que entrañan un riesgo importante. Naturalmente, se concentra en las técnicas de identificación y en la inspección de los elementos de la fábrica que, en caso de producirse un fallo, originarían un riesgo grave para la seguridad del personal de dentro y fuera del emplazamiento.

La labor de un inspector de fábrica general dependerá de que cuente o no con inspectores especializados (subsección 7.3.8) que le presten apoyo. Aquí se parte del supuesto de que tal es el caso. De no ser así, la presente sección y la sección siguiente relativa al trabajo de los inspectores especializados se deben leer conjuntamente.

La mayoría de los accidentes graves se originan por escapes de una sustancia peligrosa. En consecuencia, en primer lugar es necesario determinar los elementos de la planta que contienen sustancias peligrosas en cantidad suficiente para causar un accidente grave.

La responsabilidad en cualquier fábrica que entraña un riesgo importante incumbe a su dirección, y es ésta la que debe proporcionar los expertos y recursos necesarios para evaluar el riesgo de su funcionamiento y tomar las precauciones debidas. La función del inspector de fábrica como autoridad encargada de la aplicación consiste en efectuar verificaciones suficientes de lo que la dirección ha hecho, estar convencido de su competencia para dirigir la fábrica con seguridad y mantener el control en caso de producirse un accidente.

Normalmente, las inspecciones de fábrica no cuentan con los recursos necesarios para inspeccionar todos los elementos de la planta y los procedimientos operativos en una fábrica que entraña un riesgo importante. Es necesario actuar por muestreo y establecer prioridades, particularmente en las fábricas mayores, para que se haga la adecuada selección de la muestra. En este caso, se entiende por muestreo la elección de un componente de la planta (por ejemplo, un recipiente a presión) como representativo de varios componentes análogos, seguida de la inspección de esa muestra a fondo. Un inspector de fábrica que ha de inspeccionar un emplazamiento grande debe calcular los recursos disponibles para hacerlo y establecer luego meticulosamente un plan. Es probable que en cada visita se elija una muestra diferente para la inspección, con el

fin de haber cubierto con el tiempo todo el emplazamiento. Teniendo esto presente, y dado que los inspectores cambian con los años, conviene llevar registros exactos de lo que se ha inspeccionado y de las medidas aplicadas como resultado de esa inspección. Si el inspector cambia luego de empleo, su sucesor podrá examinar el archivo y mantener con continuidad la estrategia general aplicada a esa fábrica.

Un elemento esencial de la inspección consistirá en verificar que los operadores conocen los aspectos de seguridad de la planta, tanto del material físico como de las operaciones, y tienen instrucciones claras con respecto al manejo que abarcan, por ejemplo las medidas que han de adoptar si se produjera una desviación del proceso. Habrá que examinar los planes de inspección de la fábrica, ensayos y mantenimiento en cuanto a la muestra de la planta elegida. El inspector tendrá también que comprobar los procedimientos de emergencia de esa planta y su integración en un plan de emergencia general para el emplazamiento.

### 7.3.8. Inspección de los lugares de trabajo por especialistas

Entre los inspectores especialistas figuran los ingenieros eléctricos, mecánicos, civiles y químicos. Su papel consistirá probablemente en proporcionar apoyo especializado a los inspectores de fábrica generales, con inclusión de asesoramiento sobre la selección de las muestras que se han de inspeccionar y, a continuación, la aplicación de sus conocimientos especializados en la inspección ulterior.

Su labor incluirá procedimientos como:

*a)* inspección de los recipientes a presión en relación con el diseño, funcionamiento y mantenimiento de normas aprobadas;

*b)* verificación de las plantas de productos químicos controladas con computadora en lo que respecta a la integridad de los programas;

*c)* verificación de la disposición de las instalaciones de gas licuado y de las precauciones contra incendios conexas;

*d)* verificación de los procedimientos relativos a las modificaciones de la planta para mantener la integridad inicial de ésta después de cualquier modificación;

*e)* verificación del diseño y de los procedimientos de mantenimiento de las tuberías que transportan sustancias peligrosas.

Los inspectores especializados deben conocer la experiencia mundial de accidentes relacionados con su disciplina particular y poder asesorar a los inspectores de fábrica y a la dirección de las fábricas sobre esa base.

Los inspectores especializados, particularmente los especializados en química, deberían tener cierta experiencia directa con algunas de las sustancias que entrañan un riesgo importante. Su asesoramiento puede resultar esencial cuando los inspectores de fábrica atienden a las solicitudes de licencia para establecer una nueva fábrica que entrañe un riesgo importante, especialmente en relación con las condiciones que sería necesario aplicar y con el examen de la posible repercusión fuera del emplazamiento.

### 7.3.9. Evaluación de los riesgos principales

Esta evaluación la deben efectuar especialistas, de ser posible, siguiendo las directrices establecidas, por ejemplo, por el grupo de expertos (subsección 7.3.1), por inspectores especializados o por inspectores de fábrica generales, probablemente con asistencia de la dirección de la fábrica. La evaluación entraña un estudio sistemático de los riesgos potenciales de accidente grave, con inclusión de los efectos de percusión, los proyectiles, etc. Será una actividad semejante, aunque mucho menos detallada, que la llevada a cabo por la dirección de la fábrica para presentar su informe de seguridad a la inspección de fábrica y establecer un plan de emergencia *in situ*.

La evaluación incluirá un estudio de todas las operaciones de manipulación de materiales peligrosos, incluido su transporte, porque en esta categoría general es donde ocurren con más frecuencia accidentes mayores debidos a riesgos.

Se incluirá un examen de las consecuencias de la inestabilidad de los procesos o de cambios importantes en las variables de los procesos. La dirección de la fábrica debe haber estudiado este aspecto de manera detallada durante el estudio del riesgo y la operabilidad en la etapa de diseño, pero vale la pena que se lleve a cabo un examen independiente, aunque sea mucho menos detallado.

Asimismo, la evaluación debe tener en cuenta la situación de cualquier sustancia peligrosa en relación con otra; por ejemplo, ¿se encuentran sustancias potencialmente explosivas demasiado cerca de gases tóxicos presurizados?

También será preciso evaluar las consecuencias de una falla común; por ejemplo, ¿cuales serían las consecuencias de una pérdida total y repentina de la energía que alimenta a la planta y a los dispositivos de seguridad?

La evaluación tendrá en cuenta las consecuencias de los principales accidentes identificados en relación con las poblaciones que se encuentran fuera del emplazamiento, lo que puede determinar si el proceso o la planta está en condiciones de entrar en funcionamiento.

La evaluación abarca además el examen de la planta y la formulación de preguntas como las siguientes: «¿qué sucedería si...?», «¿qué probabilidad hay de que...?» y «¿podría suceder?», y determinar qué medidas podrían deducirse de esa evaluación.

### 7.3.10. Medidas derivadas de la evaluación

La evaluación, conjuntamente con el informe de seguridad de la fábrica, proporcióna una base para:

*a)* decidir si se puede autorizar un nuevo proceso;

*b)* determinar la disposición de una nueva planta o proceso;

*c)* determinar los requisitos de control del material físico y de los programas y prácticas, por ejemplo válvulas de cierre automático;

*d)* formular un plan de emergencia *in situ* y facilitar información para un plan de emergencia fuera del emplazamiento;

e) determinar la separación necesaria entre las instalaciones y la población del entorno;

*f)* determinar en qué medida se debe informar a la población del lugar acerca del riesgo importante (subsección 7.3.11).

### 7.3.11. Información al público

La experiencia acumulada con los accidentes graves, en especial los que entrañan escapes de gases tóxicos, ha mostrado la importancia del aviso previo a la población de las inmediaciones de: *a)* cómo reconocer que existe una situación de emergencia; *b)* qué medidas se deben tomar, y *c)* qué tratamiento médico terapéutico sería apropiado aplicar a cualquier persona afectada por el gas. La legislación de la CEE exige ahora que se facilite información a las personas que viven cerca de emplazamientos que entrañan un riesgo importante, en particular con respecto a las medidas que deben adoptar si se produjera una emergencia. Para los habitantes de viviendas convencionales de construcción sólida, en caso de producirse una emergencia suele aconsejárseles que permanezcan dentro y que cierren todas las puertas y ventanas, que apaguen todos los ventiladores y acondicionadores de aire y que conecten la radio local para recibir nuevas instrucciones.

Cuando un gran número de habitantes de barrios de chabolas o casas precarias vivan cerca de una fábrica, este consejo resultaría inapropiado debido, por ejemplo, a la escasa protección contra las nubes de gas que esas viviendas ofrecen, por lo que sería necesario proceder a una evacuación masiva. Las dificultades que ello plantea se examinan en la sección 6.3. En estos casos, la proyección de películas se considera un medio útil para aportar consejo a los habitantes locales, particularmente cuando una gran proporción de ellos no saben leer.

La zona circundante de una instalación que entrañe un riesgo importante a cuya población habrá que informar dependerá de la evaluación del riesgo y estará sujeta al asesoramiento que se pueda obtener del grupo de expertos (subsección 7.3.1). Como primera orientación, la distancia de separación (apéndice 8) puede resultar apropiada.

# 8. Requisitos previos de un sistema de control de riesgos de accidentes mayores

## 8.1. Necesidades de personal

Un sistema de control de riesgos de accidentes mayores plenamente desarrollado, análogo al que actualmente funciona dentro de la CEE, requiere una amplia variedad de personal especializado.

Además del personal industrial relacionado directa o indirectamente con el funcionamiento seguro de la planta que entraña un riesgo importante, se necesitan recursos para inspectores de fábrica generales, inspectores especializados, evaluadores del riesgo, planificadores de emergencia, autoridades locales, planificadores urbanos, policía, servicios médicos, autoridades fluviales, etc., además de legisladores para promulgar nuevas leyes y reglamentos relativos al control de los riesgos.

Aunque esta lista podría parecer desalentadora para países que están examinando la conveniencia de iniciar un sistema de control, conviene recordar que a otros países les ha llevado unos veinte años completar un conjunto global de medidas de prevención.

En la mayor parte de los países, los recursos humanos para este tipo de trabajo suelen ser limitados; por tanto, es esencial establecer prioridades realistas.

La instalación de un sistema podría basarse en el cuerpo de inspección de fábricas existente para ese país particular. Con la asistencia del grupo de expertos (subsección 7.3.1), y en particular si se dispone del apoyo de algunos especialistas, se puede lograr mucho a un coste relativamente reducido.

Se pueden definir los riesgos principales, determinar las fábricas que los entrañan y los componentes esenciales de la planta que se han de inspeccionar. La dirección de la fábrica puede preparar planes de emergencia *in situ*. Es posible organizar cursos de capacitación para los inspectores de fábrica generales en las técnicas de inspección de los riesgos de accidentes mayores. El logro de todo esto representaría un progreso sustancial. El objetivo debe ser avanzar paso a paso: si se trata de conseguir mucho de una vez, hay grandes probabilidades de que el personal se sienta abrumado, en especial si es inexperimentado, y no logre aplicar todas sus capacidades potenciales.

## 8.2. Equipo

Una característica del establecimiento de un sistema de control de un riesgo de accidente mayor es que se puede conseguir mucho con muy escaso equipo. Los inspectores de fábrica no necesitarán de grandes recursos, además de su equipo de seguridad existente. Lo que se requerirá es adquirir experiencia y conocimientos técnicos (sección 8.3) y los medios para transmitir los conocimientos del grupo de expertos a, digamos, los institutos de trabajo regionales, las inspecciones de fábrica y la industria. Es posible que se necesiten medios e instalaciones de capacitación adicionales, según los dispositivos existentes.

Un tipo de equipo que resultará muy beneficioso, aunque no esencial, es la microcomputadora. El acceso a las computadoras permitirá establecer bases de datos de las fábricas que entrañan riesgos importantes en el país y contribuirá al establecimiento de prioridades, sobre todo con respecto al grupo de expertos. Además, se pueden obtener bases de datos de otros países con información sobre sustancias peligrosas y accidentes (por ejemplo, por conducto del Centro Internacional de Información sobre Seguridad e Higiene del Trabajo (CIS) de la OIT). En este sentido, la computadora actuará como un sistema de almacenamiento de información.

Asimismo, la computadora será valiosísima para evaluar las consecuencias de todo posible accidente en relación con las poblaciones cercanas; así pues, actuará como una calculadora de gran potencia.

## 8.3. Fuentes de información

Un elemento esencial para establecer un sistema de control de riesgos mayores consiste en obtener la información más actualizada, si fuera necesario del extranjero, y transmitir rápidamente esa información a todos cuantos la necesitan para llevar a cabo su trabajo en relación con la seguridad.

Entre las fuentes útiles de información se encuentran las siguientes:

*a)* expertos investigadores industriales;

*b)* consultores;

*c)* universidades e institutos de formación superior;

*d)* instituciones profesionales, por ejemplo la Institución de Ingenieros Químicos del Reino Unido;

*e)* institutos nacionales de normas;

*f)* institutos y sociedades de investigación, por ejemplo la Organización de Investigaciones Científicas Aplicadas de los Países Bajos (TNO – Países Bajos), Instituto Batelle (Estados Unidos y

República Federal de Alemania), Laboratorio Lawrence Livermore (Estados Unidos), Harwell (Reino Unido), Safety and Reliability Directorate (SRD, Reino Unido);

*g)* informes publicados sobre las evaluaciones de los riesgos principales;

*h)* informes de accidentes, por ejemplo los descritos en *Loss Prevention Bulletin* de la Institución de Ingenieros Químicos del Reino Unido;

*i)* documentos técnicos y actas de conferencias;

*j)* libros de texto, particularmente F. P. Lees: *Loss prevention in the process industries* (Lees, 1980);

*k)* informes de los inspectores de fábrica.

El volumen de la documentación relativa a los diversos aspectos de las fábricas que entrañan riesgos importantes es ahora considerable y, utilizado selectivamente, proporcionaría una fuente importante de información al grupo de expertos.

# Bibliografía


American Institute of Chemical Engineers. 1985. *Guide-lines for hazard evaluation procedures* (Nueva York).

Asociación de la Industria Química. 1984. *Guide-lines for chemical sites on off-site aspects of emergency procedures* (Londres).

—. 1976. *Recommended procedures for handling major emergencies* (Londres).

Consejo de las Comunidades Europeas. 1982. Directiva del 24 de junio de 1982 sobre los riesgos de accidentes importantes de ciertas actividades industriales. Publicación núm. L 230/1.

Fussell, J. 1976. *Fault tree analysis – Concepts and techniques in generic techniques in reliability assessment* (Leyden, Países Bajos, Nordhoff).

Havens, J. A., y Spicer, T. O. 1984. «Development of a heavier-than-air dispersion model for the US Coast Guard hazard assessment computer system». Simposio sobre los gases pesados y la evaluación del riesgo III (Bonn).

Health and Safety Commission, Reino Unido. 1976. *First report of the Advisory Committee on Major Hazards* (Londres).

Health and Safety Executive, Reino Unido. 1985. *The control of industrial major accidents hazards regulations* (Londres, HMSO).

Henley, H. J., y Kumamoto, H. 1981. *Reliability engineering and risk assessment* (Nueva Jersey, Prentice-Hall).

Lambert, H. E. 1973. *Systems safety analysis and fault tree analysis* (UCID-16238).

Lees, F. P. 1980. *Loss control in the process industry*, vol. 1 (Londres, Butterworth).

Oficina Internacional del Trabajo. 1985. *Control of major hazards in India* (Ginebra, OIT).

Otway, H., y Peltu, M. 1985. *Regulating industrial risks* (Londres, Butterworth).

Países Bajos, Dirección General de Trabajo. 1979. *Methods for the calculation of physical effects of the escape of dangerous materials.*

—. 1982. *Occupational safety report regulation.*

**Apéndice 1**

# Lista de sustancias peligrosas y cantidades límites

(Extraída del anexo III de la Directiva del Consejo de las Comunidades Europeas (82/501/CEE).)

### Lista de sustancias para la aplicación del artículo 5

Las cantidades que figuran a continuación se refieren a cada instalación o conjunto de instalaciones del mismo fabricante cuando la distancia entre las mismas no es suficiente para evitar, en circunstancias previsibles, un aumento de los riesgos de accidentes graves. En todo caso, estas cantidades se refieren a cada conjunto de instalaciones del mismo fabricante cuando la distancia entre las instalaciones sea inferior a aproximadamente 500 m.

| Denominaciones | Cantidad (≥) | Núm. CAS | Núm. CEE |
|---|---|---|---|
| 1. 4-Aminodifenilo | 1 kg | 92-67-1 | |
| 2. Bencidina | 1 kg | 92-87-5 | 612-042-00-2 |
| 3. Sales de bencidina | 1 kg | | |
| 4. Dimetilnitrosamina | 1 kg | 62-75-9 | |
| 5. 2-Naftilamina | 1 kg | 91-59-8 | 612-022-00-3 |
| 6. Berilio (pulverizado y/o compuestos) | 10 kg | | |
| 7. Eterdiclorometílico | 1 kg | 542-88-1 | 603-046-00-5 |
| 8. 1,3-Propanosultona | 1 kg | 1120-71-4 | |
| 9. 2,3,7,8-Tetraclorodibenzo-p-dioxina (TCDD) | 1 kg | 1746-01-6 | |
| 10. Pentóxido de arsénico, ácido (V) arsénico y sus sales | 500 kg | | |
| 11. Trióxido de arsénico, ácido (III) arsenioso y sus sales | 100 kg | | |
| 12. Hidruro de arsénico (Arsina) | 10 kg | 7784-42-1 | |
| 13. Cloruro de N,N-dimetilcarbamoilo | 1 kg | 79-44-7 | |
| 14. N-cloroformil-morfolina | 1 kg | 15159-40-7 | |
| 15. Dicloruro de carbonilo (Fosgeno) | 750 kg | 75-44-5 | 006-002-00-8 |
| 16. Cloro | 25 t | 7782-50-5 | 017-001-00-7 |
| 17. Sulfuro de hidrógeno | 50 t | 7783-06-04 | 016-001-00-4 |
| 18. Acrilonitrilo | 200 t | 107-13-1 | 608-003-00-4 |
| 19. Cianuro de hidrógeno | 20 t | 74-90-8 | 006-006-00-X |
| 20. Sulfuro de carbono | 200 t | 75-15-0 | 006-003-00-3 |
| 21. Bromo | 500 t | 7726-95-6 | 035-001-00-5 |
| 22. Amoníaco | 500 t | 7664-41-7 | 007-001-00-5 |
| 23. Acetileno (Etino) | 50 t | 74-86-2 | 601-015-00-0 |
| 24. Hidrógeno | 50 t | 1333-74-0 | 001-001-00-9 |
| 25. Oxido de etileno | 50 t | 75-21-8 | 603-023-00-X |
| 26. Oxido de propileno | 50 t | 75-56-9 | 603-055-00-4 |
| 27. 2-Ciano-2-propanol (Acetona cianhidreína) | 200 t | 75-86-5 | 608-004-00-X |
| 28. 2-Propenal (Acroleína) | 200 t | 107-02-8 | 605-008-00-3 |
| 29. 2-Propeno-1-ol (Alcohol alílico) | 200 t | 107-18-6 | 603-015-00-6 |
| 30. Alilamina | 200 t | 107-11-9 | 612-046-00-4 |
| 31. Hidruro de antimonio (Estibina) | 100 kg | 7803-52-3 | |
| 32. Etilenimina | 50 t | 151-56-4 | 613-001-00-1 |
| 33. Formaldehído (concentración ≥ 90%) | 50 t | 50-00-0 | 605-001-01-2 |
| 34. Hidruro de fósforo (Fosfina) | 100 kg | 7803-51-2 | |
| 35. Bromometano (Bromuro de metilo) | 200 t | 74-83-9 | 602-002-00-3 |
| 36. Isocianato de metilo | 150 kg | 624-83-9 | 615-001-00-7 |
| 37. Oxidos de nitrógeno | 50 t | 11104-93-1 | |
| 38. Selenito de sodio | 100 kg | 10102-18-8 | |
| 39. Sulfuro de bis-(2-cloroetilo) | 1 kg | 505-60-2 | |
| 40. Fosacetim | 100 kg | 4104-14-7 | 015-092-00-8 |
| 41. Plomo tetraetilo | 50 t | 78-00-2 | |
| 42. Plomo tetrametilo | 50 t | 75-74-1 | |
| 43. Promurit (3,4-diclorofenil nitrotiourea) | 100 kg | 5836-73-7 | |
| 44. Clorfenvinfós | 100 kg | 470-90-6 | 015-071-00-3 |
| 45. Crimidina | 100 kg | 535-89-7 | 613-004-00-8 |
| 46. Eter metílico monoclorado | 1 kg | 107-30-2 | |
| 47. Dimetilamida del ácido cianofosfórico | 1 t | 63917-41-9 | |
| 48. Carbofenotión | 100 kg | 786-19-6 | 015-044-00-6 |
| 49. Dialifós | 100 kg | 10311-84-9 | 015-088-00-6 |
| 50. Ciantoato | 100 kg | 3734-95-0 | 015-070-00-8 |
| 51. Amitón | 1 kg | 78-53-5 | |
| 52. Oxidisulfutón | 100 kg | 2497-07-6 | 015-096-00-X |
| 53. Tiofosfato de 0,0-dietilo y de S-(etilsulfinil-metilo) | 100 kg | 2588-05-8 | |
| 54. Tiofosfato de 0,0-dietilo y de S-(etilsulfonil-metilo) | 100 kg | 2588-06-9 | |
| 55. Disulfotón | 100 kg | 298-04-4 | 015-060-00-3 |
| 56. Demetón | 100 kg | 8065-48-3 | |
| 57. Forato | 100 kg | 298-02-2 | 015-033-00-6 |
| 58. Tiofosfato de 0,0-dietilo y de S-(etiltio-metilo) | 100 kg | 2600-69-3 | |
| 59. Ditiofosfato de 0,0-dietilo y de S-(isopropil-tiometilo) | 100 kg | 78-52-4 | |
| 60. Pirazoxón | 100 kg | 108-34-9 | 015-023-00-1 |
| 61. Fensulfotión | 100 kg | 115-90-2 | 015-090-00-7 |
| 62. Paraoxona (fosfato 0,0-dietilo y de 0-p-nitrofenilo) | 100 kg | 311-45-5 | |
| 63. Paratión | 100 kg | 56-38-2 | 015-034-00-1 |
| 64. Azinfosetil | 100 kg | 2642-71-9 | 015-056-00-1 |

| Denominaciones | Cantidad (≥) | Núm. CAS | Núm. CEE |
|---|---|---|---|
| 65. Ditiofosfato de 0,0-dietilo y de S-(propil-tiometilo) | 100 kg | 3309-68-0 | |
| 66. Tionacin | 100 kg | 297-97-2 | |
| 67. Carbofurano | 100 kg | 1563-66-2 | 006-026-00-9 |
| 68. Fosfamidón | 100 kg | 13171-21-6 | 015-022-00-6 |
| 69. Tirpato (2,4-dimetil-1,3 ditiolano-2 carboxialdehido-0-(metilcarbamoilo) oxina | 100 kg | 26419-73-8 | |
| 70. Mevinfós | 100 kg | 7786-34-7 | 015-020-00-5 |
| 71. Paratión-metil | 100 kg | 298-00-0 | 015-035-00-7 |
| 72. Azinfós-metil | 100 kg | 86-50-0 | 015-039-00-9 |
| 73. Cicloheximida | 100 kg | 66-81-9 | |
| 74. Diafacinona | 100 kg | 82-66-6 | |
| 75. Tetrametilén disulfotetramina | 1 kg | 80-12-6 | |
| 76. EPN | 100 kg | 2104-64-5 | 015-036-00-2 |
| 77. Acido 4-fluorobutírico | 1 kg | 462-23-7 | |
| 78. Sales del ácido 4-fluorobutírico | 1 kg | | |
| 79. Esteres del ácido 4-fluorobutírico | 1 kg | | |
| 80. Amidas del ácido 4-fluorobutírico | 1 kg | | |
| 81. Acido 4-fluorocrotónico | 1 kg | 37759-72-1 | |
| 82. Sales del ácido 4-fluorocrotónico | 1 kg | | |
| 83. Esteres del ácido 4-fluorocrotónico | 1 kg | | |
| 84. Amidas del ácido 4-fluorocrotónico | 1 kg | | |
| 85. Acido fluoroacético | 1 kg | 144-49-0 | 607-081-00-7 |
| 86. Sales del ácido fluoroacético | 1 kg | | |
| 87. Esteres del ácido fluoroacético | 1 kg | | |
| 88. Amidas del ácido fluoroacético | 1 kg | | |
| 89. Fluenetil | 100 kg | 4301-50-2 | 607-078-00-0 |
| 90. Acido 4-fluoro-2-hidroxibutírico | 1 kg | | |
| 91. Sales del ácido 4-fluoro-2-hidroxibutírico | 1 kg | | |
| 92. Esteres del ácido 4-fluoro-2-hidroxibutírico | 1 kg | | |
| 93. Amidas del ácido 4-fluoro-2-hidroxibutírico | 1 kg | | |
| 94. Acido fluorhídrico | 50 t | 7664-39-3 | 009-002-00-6 |
| 95. Hidroxiacetonitrilo (Nitrilo del ácido glicólico) | 100 kg | 107-16-4 | |
| 96. 1,2,3,7,8,9 hexaclorodibenzo-p-dioxina | 100 kg | 19408-74-3 | |
| 97. Isodrin | 100 kg | 465-73-6 | 602-050-00-4 |
| 98. Hexametilfosfotriamida | 1 kg | 680-31-9 | |
| 99. Juglón (5-hidroxi-1,4-naftoquinona) | 100 kg | 481-39-0 | |
| 100. Cumafén (Warfarina) | 100 kg | 81-8-2 | 697-056-00-0 |
| 101. 4,4 metilén-bis (2-cloroanilina) | 10 kg | 101-14-4 | |
| 102. Etión | 100 kg | 563-12-2 | 015-047-00-2 |
| 103. Aldicarb | 100 kg | 116-06-3 | 006-017-00-X |
| 104. Niqueltetracarbonilo (niquel carbonilo) | 10 kg | 13463-39-3 | 028-001-00-1 |
| 105. Isobenzano | 100 kg | 297-78-9 | 602-053-00-0 |
| 106. Pentaborano | 100 kg | 19624-22-7 | |
| 107. Diacetato de 1-propeno-2-cloro-1,3-diol | 10 kg | 10118-72-6 | |
| 108. Propilenimina | 50 t | 75-55-8 | |
| 109. Difluoruro de oxígeno | 10 kg | 7783-41-7 | |
| 110. Dicloruro de azufre | 1 t | 10545-99-0 | 016-013-00-X |
| 111. Hexafluoruro de selenio | 10 kg | 7783-79-1 | |
| 112. Hidruro de selenio | 10 kg | 7783-07-5 | |
| 113. TEPP | 100 kg | 107-49-3 | 015-025-00-2 |
| 114. Sulfotep | 100 kg | 3689-24-5 | 015-027-00-3 |
| 115. Difemos | 100 kg | 115-26-4 | 015-061-00-9 |
| 116. Triciclohexisestanil-1-H-1,1,2,4-triazol | 100 kg | 41083-11-8 | |
| 117. Trietilenmelamina | 10 kg | 51-18-3 | |
| 118. Cobalto en forma de metal, de óxidos, de carbonatos, de sulfuros, pulverizados | 1 t | | |
| 119. Níquel en forma de metal, de óxidos, de carbonatos, de sulfuros, pulverizados | 1 t | | |
| 120. Anabasina | 100 kg | 494-52-0 | |
| 121. Hexafluoruro de teluro | 100 kg | 7783-80-4 | |
| 122. Cloruro de triclorometilsulfenilo | 100 kg | 594-42-3 | |
| 123. 1,2 Dibromoetano (Bromuro de etileno) | 50 t | 106-93-4 | 602-010-00-6 |
| 124. Sustancias inflamables según las letras c) e i) del Anexo IV | 200 t | | |
| 125. Sustancias inflamables según las letras c) e ii) del Anexo IV | 50000 t | | |

| Denominaciones | Cantidad (≥) | Núm. CAS | Núm. CEE |
|---|---|---|---|
| 126. Diazodinitrofenol | 10 t | 7008-81-3 | |
| 127. Dinitrato de dietilenglicol | 10 t | 693-21-0 | 603-033-00-4 |
| 128. Sales de dinitrofenol | 50 t | | 609-017-00-3 |
| 129. 1-Guanil-4-nitrosamina-guanil-1-tetraceno | 10 t | 109-27-3 | |
| 130. Bis (2,4,6-Trinitrofenil)-amina | 50 t | 131-73-7 | 612-018-00-1 |
| 131. Nitrato de hidrazina | 50 t | 13464-97-6 | |
| 132. Nitroglicerina | 10 t | 55-63-0 | 603-034-00-X |
| 133. Tetranitrato de pentaeritritol | 50 t | 78-11-5 | 603-035-00-5 |
| 134. Ciclotrimetilen-trinitroamina | 50 t | 121-82-4 | |
| 135. Trinitroanilina | 50 t | 26952-42-1 | |
| 136. 2,4,6-Trinitroanisol | 50 t | 606-35-9 | 609-011-00-0 |
| 137. Trinitrobenceno | 50 t | 25377-32-6 | 609-005-00-8 |
| 138. Acido trinitrobenzoico | 50 t | 33860-50-5 | |
| 139. Clorotrinitrobenceno | 50 t | 28260-61-9 | 610-004-00-X |
| 140. N-Metil-2,4,6-Tetranitroanilina | 50 t | 479-45-8 | 612-017-00-6 |
| 141. 2,4,6-Trinitrofenol (Acido pícrico) | 50 t | 88-89-1 | 609-009-00-X |
| 142. Trinitrocresol | 50 t | 28905-71-7 | 609-012-00-6 |
| 143. 2,4,6-Trinitrofenol | 50 t | 4732-14-3 | |
| 144. 2,4,6-Trinitroresorcinol (ácido estífnico) | 50 t | 82-71-3 | 609-018-00-9 |
| 145. 2,4,6-Trinitrotolueno | 50 t | 118-96-7 | 609-008-00-4 |
| 146. *a)* Nitrato de amonio[1] | 2500 t | 6484-52-2 | |
| *b)* Nitrato de amonio en forma de abono[2] | 5000 t | | |
| 147. Nitrocelulosa (conteniendo más de 12,6% de nitrógeno) | 100 t | 9004-70-0 | 603-037-00-6 |
| 148. Dióxido de azufre | 250 t | 7446-09-05 | 016-011-00-9 |
| 149. Acido clorhídrico (gas licuado) | 250 t | 7647-01-0 | 017-002-00-2 |
| 150. Sustancias inflamables según las letras c) e iii) del Anexo IV | 200 t | | |
| 151. Clorato de sodio | 250 t | 7775-09-9 | 017-005-00-9 |
| 152. Peroxiacetato de tercbutilo (concentración ≥ 70%) | 50 t | 107-71-1 | |
| 153. Peroxiisobutirato de tercbutilo (concentración ≥ 80%) | 50 t | 109-13-7 | |
| 154. Peroximaleato de tercbutilo (concentración ≥ 80%) | 50 t | 1931-62-0 | |
| 155. Peroxiisopropilcarbonato de tercbutilo (concentración ≥ 80%) | 50 t | 2372-21-6 | |
| 156. Peroxidicarbonato de dibencilo (concentración ≥ 90%) | 50 t | 2144-45-8 | |
| 157. Peroxibutano de 2,2-bis tercbutilo (concentración ≥ 70%) | 50 t | 2167-23-9 | |
| 158. Peroxiciclohexano de 1,1-bis tercbutilo (concentración ≥ 80%) | 50 t | 3006-86-8 | |
| 159. Peroxidicarbonato de di-s-butilo (concentración ≥ 80%) | 50 t | 19910-65-7 | |
| 160. 2,2-dihidroperoxipropano (concentración ≥ 30%) | 50 t | 2614-76-8 | |
| 161. Peroxidicarbonato de di-n-propilo (concentración ≥ 80%) | 50 t | 16066-38-9 | |
| 162. 3,3,6,6,9,9-hexametil-1,2,4,5-tetroxaciclononano (concentración ≥ 57%) | 50 t | 22397-33-7 | |
| 163. Peróxido de metiletilcetona (concentración ≥ 60%) | 50 t | 1338-23-4 | |
| 164. Peróxido de metilisobutilcetona (concentración ≥ 60%) | 50 t | 37206-20-5 | |
| 165. Acido peracético (concentración ≥ 60%) | 50 t | 79-21-0 | 607-094-00-8 |
| 166. Nitruro de plomo | 50 t | 13424-46-9 | 082-003-00-7 |
| 167. 2,4,6-Trinitroresorcinato de plomo (tricinato) | 50 t | 15245-44-0 | 609-019-00-4 |
| 168. Fulminato de mercurio, isocianato de mercurio | 10 t | 20820-45-5 | 080-005-00-2 |
| 169. Ciclotetrametilén tetranitroamina | 50 t | 2691-41-0 | |
| 170. 2,2',4,4',6,6'-Hexanitroestilbeno | 50 t | 20062-22-0 | |
| 171. 1,3,5-Triamino-2,4,6-Trinitrobenceno | 50 t | 3058-38-6 | |
| 172. Dinitrato de glicol | 10 t | 628-96-6 | 603-032-00-9 |
| 173. Nitrato de etilo | 50 t | 625-58-1 | 007-007-00-8 |
| 174. Picramato de sodio | 50 t | 831-52-7 | |
| 175. Nitruro de bario | 50 t | 18810-58-7 | |
| 176. Peróxido de diisobutirilo (concentración ≥ 50%) | 50 t | 3437-84-1 | |
| 177. Peroxidicarbonato de etilo (concentración ≥ 30%) | 50 t | 14666-78-5 | |
| 178. Peroxipivalato de tercbutilo (concentración ≥ 77%) | 50 t | 927-07-1 | |
| 179. Oxígeno líquido | 2000 t | 7782-44-7 | 008-001-00-8 |
| 180. Trióxido de azufre | 75 t | 7446-11-9 | |

[1] Esto se aplicará al nitrato de amonio y a las mezclas de nitrato de amonio en las que el contenido de nitrógeno debido al nitrato de amonio sea superior al 28% en peso y a las disoluciones acuosas de nitrato de amonio en las que la concentración de nitrato de amonio sea superior al 90% en peso.

[2] Esto se aplicará a los abonos simples a base de nitrato de amonio que se ajusten a la Directiva 80/876/CEE y a los abonos compuestos en los que el contenido de azufre debido al nitrato de amonio sea superior al 28% en peso (los abonos compuestos contienen nitrato de amonio mezclado con fosfato y/o potasa).

NB: Los números CEE corresponden a los de la Directiva 67/548/CEE, incluidas sus modificaciones

**Apéndice 2a)**

# Ejemplo de un método rápido de clasificación de las unidades/elementos de la planta

(Reproducido de la sección «Description of foreseeable hazards and of preventive provisions to control such hazards» en *Operational safety report: Guideline for the compilation,* Draft manual, Países Bajos, Dirección General del Trabajo, Inspección del Trabajo.)

Se describe a continuación un sistema rápido que puede utilizarse para clasificar los elementos separados de una planta de un complejo industrial. Esta es una versión simplificada del método establecido por la Dow Chemical Company. Además de este método de clasificación rápida, se dispone de otros métodos. En general, cuanto más laborioso es el método más seguros son los resultados como indicación de los riesgos.

## 1. Subdivisión de la instalación

Antes de aplicar índices de riesgo, la instalación de que se trate debe subdividirse en elementos o unidades lógicos e independientes. En general, una dependencia puede caracterizarse lógicamente por la índole del proceso que en ella se realiza. En algunos casos, la dependencia o unidad puede estar constituida por un elemento de la planta separado de los demás elementos por espacio o por muros de protección.

Un elemento de la planta puede ser también un aparato, instrumento, sección o sistema capaz de provocar un riesgo específico.

A continuación, se dan ejemplos de unidades o elementos lógicos e independientes:

- sección de alimentación;
- sección de calentamiento/sección de enfriamiento;
- sección de reacción;
- sección de compresión;
- sección de destilación;
- sección de lavado;
- sistema de recolección;
- sección de filtración;
- cisternas reguladoras;
- torre de granulación;
- sección de destrucción;
- sistema de inflamación;
- sistema de extracción o evacuación;
- sección de recuperación;
- sección de enfriamiento, etc.

Con respecto a las instalaciones de almacenamiento, cada cisterna, depósito o silo se considera como una unidad separada.

En el caso de almacenamiento de sustancias peligrosas en unidades de embalaje (sacos, botellas, tambores, etc.), el total de las unidades de embalaje almacenadas en un local se considera como un elemento de la planta.

## 2. Determinación del índice de incendio y explosión (IyE) y del índice de toxicidad (T)

Para cada elemento separado de la planta que contenga sustancias inflamables o tóxicas, se puede determinar un índice de incendio y explosión (IyE) y/o un índice de toxicidad (T) de una manera derivada del método de determinación del índice de incendio y explosión establecido por la Dow Chemical Company (Estados Unidos)[1].

El índice de incendio y explosión (IyE) se calcula a partir de la fórmula:

$$IyE = FM \times (1 + RGP_{tot}) \times (1 + REP_{tot}),$$

en la que:

FM = *factor material* = medida de la energía potencial de las sustancias peligrosas presentes (según los datos de la National Fire Protection Association (NFPA) (Asociación Nacional de Protección contra Incendios de los Estados Unidos) (véase la sección 3);

$RGP_{tot}$ = *riesgos generales del proceso* = medida de los riesgos inherentes al proceso (derivados de la naturaleza y las características del proceso (véase la sección 4);

$REP_{tot}$ = *riesgos especiales del proceso* = medida de los riesgos procedentes de la instalación específica (condiciones del proceso, naturaleza y dimensión de la instalación) (véase la sección 5).

El índice de toxicidad (T) se calcula a partir de la fórmula:

$$T = \frac{T_h + T_s}{100} (1 + RGP_{tot} + REP_{tot}),$$

en la que:

$T_h$ = *factor toxicidad* (obtenido de los datos de la NFPA) (véase la sección 6);

$T_s$ = *suplemento* del valor CMA (véase la sección 6).

Para $RGP_{tot}$ y $REP_{tot}$ se aplican los mismos valores que para la determinación del índice de incendio y explosión.

Para la determinación del índice de IyE, por un lado, y de T, por el otro, se puede utilizar el formulario que figura en el cuadro 2.1.

Cuando existe más de una sustancia peligrosa en un elemento de la planta, se debe determinar un índice de

incendio y explosión (IyE) y/o un índice de toxicidad (T), si se desea con ayuda del formulario, para cada sustancia.

Al determinar la categoría del riesgo del elemento de la planta, se aplican los valores máximos encontrados para IyE o T, respectivamente.

**Cuadro 2.1. Determinación del índice de incendio y explosión (IyE) y del índice de toxicidad (T)**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Nombre | | Fecha |
| Localización | | | Numero | |
| Planta | Unidad | | A cargo de | |
| MATERIALES Y PROCESOS* | | | | |
| Materiales | | Disolventes | | |
| Factor material FM (ver cuadro 1, apéndice a) | | → | | |
| RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (RGP) | 4 | Penalización | Penalización usada** | |
| Reacciones exotérmicas | 4,1 | | | |
| Reacciones endotérmicas | 4,2 | 0,20 | | |
| Transferencia y manejo materiales | 4,3 | | | |
| Unidades de proceso cerradas | 4,4 | | | |
| Añádase $RGP_{tot}$ | | → | | |
| $(1 + RGP_{tot}) \times FM$ = subfactor | | → | | |
| RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO (REP) | 5 | | | |
| Temperatura del proceso (usar sólo penalización superior) | 5,1 | | | |
| – Superior al punto de inflamación | | 0,25 | | |
| – Superior al punto de ebullición | | 0,60 | | |
| – Superior al punto de autoignición | | 0,75 | | |
| Presión baja (inferior a la atmosférica/sub-atmosférica) | 5,2 | | | |
| – Riesgo de formación de peróxido | | 0,50 | | |
| – Sistemas de acopio de hidrógeno | | 0,50 | | |
| – Destilación en el vacío a una presión absoluta inferior a 0,67 bar. | | 0,75 | | |
| Operación en o cerca condiciones inflamabilidad | 5,3 | | | |
| – Líquidos inflamables y GLP almacenados en tanques en el exterior | | 0,50 | | |
| – Confianza en instrumentos y/o $N_2$ o purga de aire para quedar fuera del campo de inflamabilidad | | 0,75 | | |
| – Siempre en condiciones de inflamabilidad | | 1,00 | | |
| Presión de servicio | 5,4 | | | |
| Temperatura baja | 5,5 | | | |
| – Entre 0 y −30 °C | | 0,30 | | |
| – Inferior a −30 °C | | | | |
| Cantidad de material inflamable | 5,6 | | | |
| – En proceso | | | | |
| – Almacenado | | | | |
| Corrosión y erosión | 5,7 | | | |
| Fugas por uniones y empaquetaduras | 5,8 | | | |
| Añádase REP | | → | | |
| $(1 + REP_{tot}) \times$ subfactor = índice de incendio y explosión (IyE) | | | | |
| INDICE DE TOXICIDAD (T) (véase 6) | | | | |
| $\frac{T_h + T_s}{100} \times (1 + RGP_{tot} + REP_{tot}) = T$ | | → | | |

* La palabra «proceso» incluye el manejo y el almacenamiento.

** Consultar las secciones 4 y 5 con respecto a la penalización que se ha de utilizar. Para varios riesgos del proceso la penalización que se ha de utilizar es fija y se puede tomar de la columna precedente «penalización».

Las sustancias con una concentración inferior al 5 por ciento (porcentaje en peso para los líquidos y los sólidos, porcentaje en volumen para los gases) no se han de tomar en cuenta aquí.

## 3. Determinación del factor material (FM)

El punto de partida para calcular el índice de incendio y explosión es el factor material. Este factor es la medición del potencial de energía del material o mezcla de materiales presente más peligroso. El factor material se indica con un número que va de 0 a 40, correspondiendo los números más altos a la mayor cantidad de energía disponible.

El factor material se determina utilizando únicamente dos propiedades, la inflamabilidad[2] y la reactividad, caracterizadas por la inestabilidad y la reactividad al agua de la sustancia química. En el apéndice 2a) se enumeran los factores correspondientes a muchos materiales. El factor material se debe determinar con respecto a todas las sustancias peligrosas que existen en el elemento de la planta.

El factor material puede calcularse a partir del cuadro 2.2, utilizando el valor numérico de la inflamabilidad y de la reactividad dados por la NFPA[3].

Por ejemplo, el óxido de etileno con una inflamabilidad de 4 y una reactividad de 3 da un factor material de 29, con arreglo al cuadro 2.2. El acrilato de butilo, con una inflamabilidad de 2 y una reactividad de 2, da un factor material de 24, con arreglo al cuadro 2.2.

**Cuadro 2.2. Determinación del factor material**

| | Tiempo adiabático de descomposición ($T_a$) | < 830 | 830 - 935 | 935 - 1010 | 1010 - 1080 | >1080 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | reactividad | | | | |
| Punto de inflamación °C | $H_{cv}$ kJ bar/mol | $N_r$ / $N_i$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Nulo | $<4.10^{-5}$ | 0 | 0 | 14 | 24 | 29 | 40 |
| > 100 | $4.10^{-5}$–2.5 | 1 | 4 | 14 | 24 | 29 | 40 |
| 40 - 100 | 2.5 - 40 | 2 | 10 | 14 | 24 | 29 | 40 |
| - 20 - +40 | 40 - 600 | 3 | 16 | 16 | 24 | 29 | 40 |
| < - 20 | > 600 | 4 | 21 | 21 | 24 | 29 | 40 |
| | | inflamabilidad | Factor Material FM | | | | |

El punto de inflamación o $H_{cv}$ se puede utilizar con respecto a la inflamabilidad $N_i$. El valor del $H_{cv}$ se calcula multiplicando el calor de la combustión kJ/mol, por la presión del vapor a 300 K (27 °C) medida en el barómetro. Para materiales que hierven a menos de 300 K, utilícese 1,00 como presión del vapor. Para calcular el $N_r$ úsese la temperatura adiabática de descomposición ($T_a$).

Por ejemplo, el óxido de propileno tiene las siguientes propiedades básicas:

- punto de inflamación inferior a –20 °C;
- calor de la combustión 30,703 kJ/g;
- peso molecular 58;
- el calor de combustión es, por tanto, 30,703 × 58 = 1780,78 kJ/mol;
- presión barométrica 0,745 (27 °C);
- temperatura de descomposición: 675 °C.

Para un punto de inflamación inferior a –20 °C, el valor del riesgo con respecto a la inflamabilidad es de 4. Esto se puede verificar calculando $H_{cv}$ como sigue:

$$H_{cv} = 1780{,}78 \times 0{,}745 = 1326 \text{ kj bar/mol}$$

aproximadamente.

Un $H_{cv}$ de 1326 da un valor de riesgo de 4 con respecto a la inflamabilidad.

La temperatura adiabática de descomposición es la siguiente:

$$T_a = 675 + 273 = 948 \text{ K.}$$

Esto da un valor de riesgo de 2 con respecto a la reactividad. A partir del cuadro 2.2, se podrá aplicar un factor material de 24 al óxido de propileno.

## 4. Determinación de los riesgos generales del proceso

### 4.1. Reacciones exotérmicas

4.1.1. Se penaliza con 0,20:

- *combustión* = la combustión de combustible sólido, líquido o gaseoso con aire como en un horno.

4.1.2. Las reacciones que se indican a continuación se penalizan con 0,30:

a) *hidrogenación* = adición de átomos de hidrógeno a ambos lados de un enlace doble o triple; los riesgos

están determinados por el empleo de hidrógeno bajo presión y a una temperatura relativamente elevada;

b) *hidrólisis* = reacción de un compuesto con agua, tal como la fabricación de ácido sulfúrico o fosfórico a partir de sus óxidos;

c) *alquilación* = adición de un grupo alquilo a un compuesto para formar varios compuestos orgánicos;

d) *isomerización* = reagrupamiento de los átomos en una molécula orgánica, por ejemplo, cambio de una cadena lineal en una molécula ramificada o desplazamiento de un enlace doble; los riesgos dependerán de la estabilidad y de la reactividad de las sustancias químicas utilizadas y pueden en algunos casos exigir una penalización de 0,50;

e) *sulfonación* = introducción de un radical $SO_3H$ en una molécula orgánica mediante reacción con $H_2SO_4$;

f) *neutralización* = reacción entre un ácido y una base para dar una sal y agua.

4.1.3. Se penalizan con 0,50:

a) *esterificación* = reacción entre un ácido y un alcohol o un hidrocarburo insaturado; riesgo moderado, salvo en casos en que el ácido es altamente reactivo o cuando el material que reacciona es inestable, en cuyo caso la penalización se debe aumentar a 0,75 o 1,25;

b) *oxidación* = combinación de oxígeno con algunas sustancias cuando la reacción se halla controlada y no da $CO_2$ y $H_2O$ como productos de combustión. Cuando se usan agentes oxidantes intensos, tales como cloratos, ácido nítrico, ácidos hipoclorosos y sus sales, aumentar la penalización a 1,00;

c) *polimerización* = unión conjunta de moléculas para formar cadenas u otras uniones; el calor debe disiparse para mantener la reacción bajo control;

d) *condensación* = unión conjunta de dos o más moléculas orgánicas con desprendimiento de $H_2O$, HCL u otros compuestos.

4.1.4. Se penalizan con 1,00:

- *halogenación* = introducción de átomos de halógenos (flúor, cloro, bromo o iodo) en una molécula orgánica; este proceso es a la vez fuertemente exotérmico y corrosivo.

4.1.5. Se penalizan con 1,25:

- *nitración* = sustitución de un átomo de hidrógeno de un compuesto por un grupo nitro; reacción fuertemente exotérmica, posiblemente con subproductos explosivos.

Los controles de temperatura deben ser buenos; las impurezas pueden actuar como catalizadores de una nueva oxidación, o nitración, y se puede producir una rápida descomposición.

### 4.2. Reacciones endotérmicas

Las reacciones endotérmicas se penalizan con 0,20.

Son ejemplos de reacciones endotérmicas:

a) *calcinación* = calentamiento de un material para eliminar la humedad u otro material volátil;

b) *electrólisis* = separación de iones mediante la corriente eléctrica; existen riesgos debido a la presencia de productos inflamables o altamente reactivos;

c) *pirólisis o cracking* = descomposición térmica de moléculas grandes por temperaturas elevadas, presión y un catalizador; la regeneración del catalizador por medio de un proceso de combustión separado puede resultar peligrosa.

Si se utiliza el proceso de combustión como una fuente de energía para la calcinación, la pirólisis o el cracking, la penalización debe ser de 0,40.

### 4.3. Manejo y transferencia de materiales

*a)* Carga y descarga de materiales peligrosos, especialmente con respecto a los riesgos que entraña la conexión y desconexión de líneas de transferencia de camiones, vagones cisterna y barcazas: *penalización 0,50.*

*b)* El almacenamiento en locales y patios (con excepción del almacenamiento en tanques al aire libre) de materiales peligrosos en bidones, bombonas, tanques de transporte, etc.:

- materiales con una temperatura de proceso (almacenamiento) inferior al punto de ebullición atmosférico: *penalización 0,30;*

- materiales con temperatura de proceso (almacenamiento) superior al punto de ebullición atmosférico: *penalización 0,60.*

Las penalizaciones arriba mencionadas se aplican debido a la posible exposición en el manejo y el riesgo potencial de incendio. Se aplican independientemente de la cantidad (con respecto a la cual se indica una penalización en otro lugar).

### 4.4. Unidades de proceso en un edificio

Las unidades de proceso que están situadas en un edificio y en las que se procesan y/o almacenan materiales peligrosos representan un mayor riesgo debido a la obstrucción de la ventilación natural:

- líquidos inflamables que estén a una temperatura superior al punto de inflamación, pero inferior al punto de ebullición: *penalización 0,30;*
- líquidos inflamables o gases licuados de petróleo a una temperatura superior al punto de ebullición: *penalización 0,60.*

### 4.5. Otras penalizaciones

El embalaje, el llenado de tambores, sacos o cajas con sustancias peligrosas, el uso de centrífugos, la mezcla de lotes en aparatos abiertos, o la realización de más de una reacción en el mismo aparato: *penalización 0,50.*

## 5. Determinación de los riesgos especiales del proceso

### 5.1. Temperatura del proceso

*a)* Se debe aplicar una *penalización de 0,25* cuando la temperatura del proceso o las condiciones de manejo están por encima del punto de inflamación del material.

*b)* Se debe aplicar una *penalización de 0,60* cuando la temperatura del proceso o las condiciones de manejo están por encima del punto de ebullición.

*c)* Algunos materiales como el hexano y el disulfuro de carbono tienen temperaturas de autoignición bajas y pueden entrar en ignición por contacto con líneas de vapor caliente: *penalización 0,75.*

### 5.2. Presión baja

No es necesario aplicar penalización a los procesos que se realizan a la presión atmosférica o subatmosférica, a condición de que una entrada de aire en el sistema no pueda crear un riesgo. Ejemplo: la destilación en el vacío de glicoles.

*a)* Cuando un escape en el circuito puede crear un riesgo, aplicar una *penalización de 0,50. Ejemplo:* manipulación de materiales pirofóricos, diolefinas con riesgo de formación de peróxido y polimerización catalizada.

*b)* Los sistemas de recolección de hidrógeno requieren una *penalización de 0,50.*

*c)* Cualquier destilación en el vacío a una presión atmosférica inferior a 0,67 *debe penalizarse con 0,75* si el aire o contaminantes que entren en el sistema pueden crear un riesgo.

### 5.3. Operación en condiciones de inflamabilidad o cercanas a ella

*a)* El almacenamiento de líquidos inflamables requiere una *penalización de 0,50* para los tanques al aire libre, si la mezcla gas-aire en el interior del tanque es en general inflamable o está cerca de las condiciones de inflamabilidad.

*b)* Para los procesos u operaciones que pueden hallarse cerca de los límites de la inflamabilidad y donde es necesario el uso de unos instrumentos y/o nitrógeno o aire de depuración para mantenerse fuera de los límites de explosión, *la penalización debe ser de 0,75. Ejemplos:* oxidación del tolueno al ácido benzoico, disolución del caucho, oxidación directa en el proceso del óxido de etileno.

*c)* Para los procesos que normalmente se llevan a cabo en condiciones de inflamabilidad, se ha de aplicar una *penalización de 1,00. Ejemplos:* destilación y almacenamiento de óxido de etileno.

### 5.4. Presiones de alivio

Cuando se opera a presión superior a la atmosférica hace falta aplicar una penalización que aumentará en función del incremento de la presión.

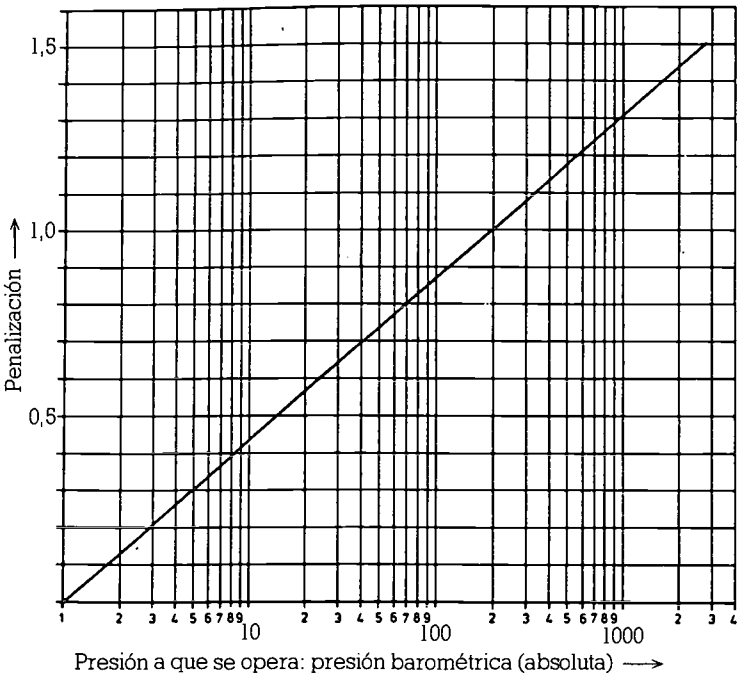
La penalización que se ha de aplicar se indica en la figura 2.1.

La penalización Y puede también calcularse con la fórmula $Y = 0{,}435 \log P$, en la que P es la presión absoluta a que se fija la válvula de seguridad, expresada en bars.

La curva de penalización de la figura 2.1. se aplica a líquidos inflamables y combustibles y debe corregirse para otras sustancias, de la manera siguiente:

*a)* para materiales altamente viscosos como alquitranes, betunes, lubricantes pesados y asfaltos, *multiplíquese la penalización por 0,7;*

**Figura 2.1. Penalización por la presión a que se opera**




*b)* para gases comprimidos, *multiplíquese la penalización por 1,2*;

*c)* para gases licuados inflamables y presurizados, *multiplíquese la penalización por 1,3*;

*d)* *las penalizaciones no son aplicables* a las operaciones de extrusión o moldeo.

### 5.5. Baja temperatura

*a)* Para procesos que operan a entre 0 °C y –30 °C, *añádase 0,30.*

*b)* Para procesos que operan a temperaturas inferiores a –30 °C, *añádase 0,50.*

La finalidad de esta clasificación es tener en cuenta la posible fragilidad. Además, en caso de escapes, el líquido frío entrará en contacto con el medio ambiente relativamente caliente, lo que puede provocar una considerable evaporación.

### 5.6. Cantidad de material inflamable

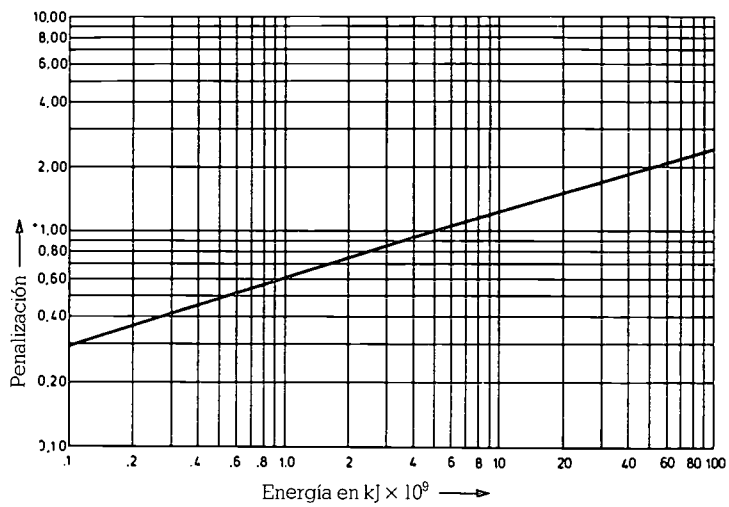
(Figuras 2.2. y 2.3.)

#### 5.6.1. En proceso

*Para calcular la penalización,* multiplíquense los kilogramos del material en proceso por el calor de la combustión expresado en kJ/kg. La figura 2.2 indica la penalización apropiada. La penalización Y se puede asimismo calcular a partir de la fórmula:

$\log Y = 0{,}305 \log eQ - 2{,}965$, en la que e = calor de la combustión del material en kJ/kg, y Q = cantidad de material inflamable en kg.

**Figura 2.2. Penalización por la cantidad de energía presente en el material inflamable en proceso**




Utilícese la cantidad de material contenido en la unidad de proceso mayor o del conjunto de unidades de proceso conectadas, siempre que esa cantidad pueda liberarse en su totalidad debido a un acontecimiento indeseado.

#### 5.6.2. En almacenamiento

Con respecto a las sustancias inflamables en almacenamiento, *la penalización que se ha de aplicar* con respecto a la cantidad presente en un tanque se determina de acuerdo con la indicada en la figura 2.3. Se ha de hacer un distinción entre el gas licuado presurizado (curva A) y los líquidos inflamables (B).

La penalización Y se puede calcular asimismo con la fórmula:

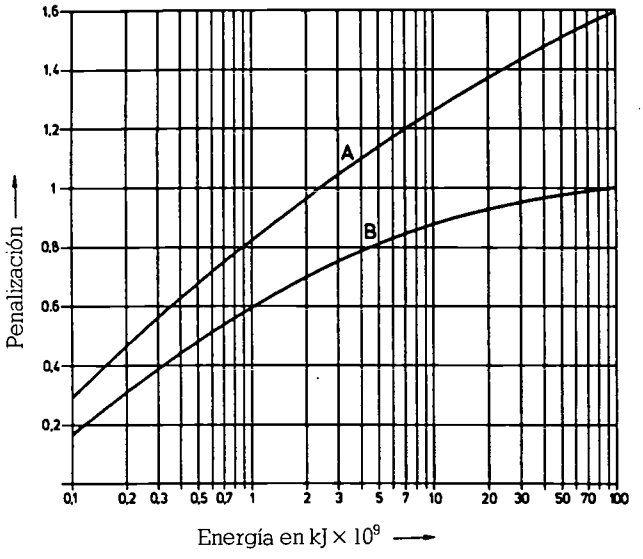
$$Y = \sqrt{185 - \left\{ \log \left( \frac{eQ.10^{-9}}{700\,000} \right) \right\}^2} - 11{,}45$$

para el gas licuado presurizado (curva A); e

$$Y = \sqrt{55 - \left\{ \log \left( \frac{eQ.10^{-9}}{270} \right) \right\}^2} - 6{,}4$$

para los líquidos inflamables (curva B).

**Figura 2.3. Penalización por la cantidad de energía presente en el material inflamable en almacenamiento**




Curva A: gas licuado presurizado
Curva B: líquidos inflamables

### 5.7. Pérdida de material debido a la corrosión y la erosión

Este riesgo se debe evaluar con respecto a la corrosión interna y externa. Aspectos que se han de tomar en consideración:

- la influencia de impurezas menores en los fluidos de los procesos sobre la corrosión;
- la corrosión externa por resquebrajamiento de la pintura y el revestimiento;
- la exposición a daños de los recubrimientos resistentes (plásticos, ladrillos, etc.) por agrietamiento en uniones, empalmes o poros.

*Se aplican las penalizaciones siguientes:*

*a)* velocidad de corrosión inferior a 0,5 mm/año con riesgo de picadura o erosión local: *0,10*;

*b)* velocidad de corrosión entre 0,5 mm y 1 mm/año: *0,20*;

*c)* velocidad de corrosión superior a 1 mm/año: *0,50*.

### 5.8. Fugas a través de uniones y empaquetaduras

Los obturadores[4], el sellado de las uniones o ejes y las empaquetaduras pueden ser una fuente de fugas, principalmente cuando se producen ciclos térmicos y de presión. Se ha de elegir un factor de penalización de acuerdo con el diseño y los materiales elegidos, según se indica a continuación:

*a)* la bomba y los prensaestopas que pueden dar lugar a fugas de pequeña importancia: *0,10*;

*b)* todos los procesos que normalmente producen problemas de fugas en bombas y uniones con bridas: *0,20*;

*c)* los procesos en que los fluidos por su naturaleza son penetrantes, dispersiones abrasivas que causan continuos problemas de estanqueidad: *0,40*;

*d)* ventanillas de observación, dispositivos de fuelles y juntas de dilatación: *1,50*.

## 6. Determinación del índice de toxicidad (T)

El índice de toxicidad se basa primordialmente en las cifras índices de los riesgos para la salud establecidas por la NFPA. En el apéndice 2a) se dan algunas de estas cifras que van de 0 a 4, para varios materiales.

En lo que respecta a los materiales no incluidos en este cuadro, cabe remitirse a las publicaciones de la NFPA (véase la nota 3 del presente apéndice).

Las cifras de la NFPA se plasman en un factor de toxicidad $T_h$, con arreglo al cuadro 2.3.

**Cuadro 2.3. Relación entre las cifras de riesgos de la NFPA y el factor de toxicidad ($T_h$)**

| Indice de la NFPA | Factor de toxicidad ($T_h$) |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 1 | 50 |
| 2 | 125 |
| 3 | 250 |
| 4 | 325 |

Además, el factor de toxicidad se ha de correlacionar con el valor CMA de la sustancia tóxica añadiéndole una penalización $T_s$, que se da en el cuadro 2.4.

**Cuadro 2.4. Penalización $T_s$ correspondiente al valor CMA**

| Cma-ppm | Penalización $T_s$ |
|---|---|
| ≤ 5 | 125 |
| 5–50 | 75 |
| > 50 | 50 |

El índice de toxicidad (T) se calcula a continuación, a partir de la fórmula siguiente:

$$T = \frac{T_h + T_s}{100} (1 + RGP_{tot} + REP_{tot}).$$

De esta manera se determina el material que da el máximo valor de $T_h + T_s$.

$RGP_{tot}$ = total de las penalizaciones del riesgo general del proceso (véase la sección 4);

$REP_{tot}$ = total de las penalizaciones del riesgo especial del proceso (véase la sección 5).

## 7. Clasificación en categorías de riesgos

Comparando los índices IyE y/o T con los criterios indicados en el cuadro 2.5, la unidad de que se trate se clasifica en alguna de las tres categorías establecidas con este fin. La categoría I es la categoría de los elementos de la planta con el menor riesgo potencial y la categoría III la que representa los mayores riesgos potenciales.

**Cuadro 2.5. Categorías de los elementos de la planta**

| | Indice de incendio y explosión (IyE) | Indice de toxicidad (T) |
|---|---|---|
| Categoría I | F < 65 | T < 6 |
| Categoría II | 65 ≤ F < 95 | 6 ≤ T < 10 |
| Categoría III | F ≥ 95 | T ≥ 10 |

En los casos en que se ha de hallar un índice de incendio y explosión y un índice de toxicidad para una categoría, se adopta el índice más elevado.

### Notas

[1] Dow Chemical Company: *Fire and explosion index hazard classification guide* (Midland, Michigan, cuarta edición, mayo de 1976).

[2] A este respecto, una sustancia se considera inflamable si la temperatura del proceso es superior o igual a la del punto de inflamación.

[3] National Fire Protection Association (Asociación Nacional de Protección contra los Incendios): *Identification of the fire hazard of materials*, NFPA núms. 704M, 325M y 49.

[4] En principio, esto se aplica sólo a los obturadores para el sellado de partes o conexiones móviles que se deben abrir con regularidad.

**Apéndice 2 b)**

# Cifras relativas a los riesgos de accidentes y factores materiales derivados de los datos de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios de los Estados Unidos (NFPA)

| Compuesto | Clasificación NFPA | | | Factor material |
|---|---|---|---|---|
| | Salud | Incendio | Reactividad | |
| Aceite mineral | 0 | 1 | 0 | 4 |
| Acetaldehído | 2 | 4 | 2 | 24 |
| Acetato de t-amilo | 1 | 3 | 0 | 16 |
| Acetato n-butilo | 1 | 3 | 0 | 16 |
| Acetato de etilo | 1 | 3 | 0 | 16 |
| Acetato de isopropilo | 1 | 3 | 0 | 16 |
| Acetato de metilo | 1 | 3 | 0 | 16 |
| Acetato de vinilo | 2 | 3 | 3 | 24 |
| Acetileno | 1 | 4 | 3 | 29 |
| Acetona | 1 | 3 | 0 | 16 |
| Acetonitrilo | 2 | 3 | 1 | 16 |
| Acido acético | 2 | 2 | 1 | 14 |
| Acido acetilsalicílico | 1 | 1 | 0 | 4 |
| Acido acrílico | 3 | 2 | 2 | 24 |
| Acido benzoico | 2 | 1 | 0 | 4 |
| Acido cianúrico | 2 | 0 | 1 | 14 |
| Acido 3,5 diclorosalicílico | 0 | 1 | 0 | 4 |
| Acido esteárico | 1 | 1 | 0 | 4 |
| Acido paracético | 3 | 2 | 4 | 40 |
| Acido sulfhídrico | 3 | 4 | 0 | 21 |
| Acrilamida | 2 | 1 | 1 | 14 |
| Acrilato de etilo | 2 | 3 | 2 | 24 |
| Acrilonitrilo | 4 | 3 | 2 | 24 |
| Acroleína | 3 | 3 | 2 | 24 |
| Alcohol alílico | 3 | 3 | 1 | 16 |
| Alcohol butílico | 1 | 3 | 0 | 16 |
| Alcohol etílico | 0 | 3 | 0 | 16 |
| Alcohol isobutílico | 1 | 3 | 0 | 16 |
| Alcohol propargílico | 3 | 3 | 3 | 29 |
| Alilamina | 3 | 3 | 1 | 16 |
| Alil-éter | 3 | 3 | 2 | 24 |
| Amoníaco | 3 | 1 | 0 | 4 |
| Anhídrido acético | 2 | 2 | 1 | 14 |
| Anhídrido maleico | 3 | 1 | 1 | 14 |
| Azufre | 2 | 1 | 0 | 4 |
| | | | | |
| Benceno | 2 | 3 | 0 | 16 |
| Benzaldehído | 2 | 2 | 0 | 10 |
| Bisfenol A | 2 | 1 | 0 | 4 |
| Bromobenceno | 2 | 2 | 0 | 10 |
| Bromuro de butilo | 2 | 3 | 0 | 16 |
| Bromuro de etilo | 2 | 3 | 0 | 16 |
| Bromuro de propargilo | 4 | 3 | 4 | 40 |
| 1,3-Butadieno | 2 | 4 | 2 | 24 |
| Butano | 1 | 4 | 0 | 21 |
| 1-Buteno | 1 | 4 | 0 | 21 |
| n-Butilamina | 2 | 3 | 0 | 16 |
| Butileno | 1 | 4 | 0 | 21 |

| Compuesto | Clasificación NFPA | | | Factor material |
|---|---|---|---|---|
| | Salud | Incendio | Reactividad | |
| n-Butil-éter | 2 | 3 | 0 | 16 |
| | | | | |
| Carbonato de dietilo | 2 | 3 | 1 | 16 |
| Carbonato de etileno | 2 | 1 | 1 | 14 |
| Carburo cálcico | 1 | 4 | 2 | 24 |
| Ciclobutano | 1 | 4 | 0 | 21 |
| Ciclohexano | 1 | 3 | 0 | 16 |
| Ciclohexanol | 1 | 2 | 0 | 10 |
| Ciclopropano | 1 | 4 | 0 | 21 |
| Cloroacetato de metilo | 2 | 2 | 1 | 14 |
| 1-Clorobutano | 2 | 3 | 0 | 16 |
| Cloroestireno | 2 | 2 | 2 | 24 |
| c-Clorofenol | 3 | 2 | 0 | 10 |
| Cloroformo | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Cloro-metil-etil-éter | 2 | 1 | 0 | 4 |
| Cloropicrina | 4 | 0 | 3 | 29 |
| 1-Cloropropano | 2 | 3 | 0 | 16 |
| Cloruro de acetilo | 3 | 3 | 2 | 24 |
| Cloruro de alilo | 3 | 3 | 1 | 16 |
| Cloruro de bencilo | 3 | 2 | 1 | 14 |
| Cloruro de etilo | 2 | 4 | 0 | 21 |
| Cloruro de isopropilo | 2 | 4 | 0 | 21 |
| Cloruro metileno | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Cloruro de metilo | 2 | 4 | 0 | 21 |
| Cloruro de vinilideno | 2 | 4 | 2 | 24 |
| Cloruro de vinibencilo | 2 | 1 | 0 | 4 |
| Cloruro de vinilo | 2 | 4 | 1 | 21 |
| Combustible Diesel | 0 | 2 | 0 | 10 |
| Combustible para cohetes | 1 | 3 | 0 | 16 |
| c-Cresol | 2 | 2 | 0 | 10 |
| Cumarina | 2 | 1 | 0 | 4 |
| Cumeno | 2 | 3 | 0 | 16 |
| | | | | |
| Dibutil-éter | 2 | 3 | 0 | 16 |
| Diciclopentadieno | 1 | 3 | 1 | 16 |
| c-Diclorobenceno | 2 | 2 | 0 | 10 |
| c-Diclorobenceno | 2 | 2 | 0 | 10 |
| 1,2-Dicloroetileno | 2 | 3 | 2 | 24 |
| 1,2-Dicloropropeno | 2 | 3 | 0 | 16 |
| 2,3-Dicloropropeno-crudo | 2 | 3 | 0 | 16 |
| Dicloruro de etileno | 2 | 3 | 0 | 16 |
| Dicloruro de propileno | 2 | 3 | 0 | 16 |
| Dicromato sódico | 1 | 0 | 1 | 14 |
| Dietanolamina | 1 | 1 | 0 | 4 |
| Dietilamina | 2 | 3 | 0 | 16 |
| Dietilamina triamina | 3 | 1 | 0 | 4 |
| Dietil-benceno | 2 | 2 | 0 | 10 |
| Dietilenglicol | 1 | 1 | 0 | 4 |

| Compuesto | Clasificación NFPA | | | Factor material |
|---|---|---|---|---|
| | Salud | Incendio | Reactividad | |
| Dietil-éter | 2 | 4 | 1 | 21 |
| Diisobutileno | 1 | 3 | 0 | 16 |
| Diisopropilbenceno | 0 | 2 | 0 | 10 |
| Dimetilamina (anhidro) | 3 | 4 | 0 | 21 |
| 2,2-Dimetilpropanol | 2 | 3 | 0 | 16 |
| n-Dinitrobenceno | 3 | 1 | 4 | 40 |
| 2,4-Dinitrofenol | 3 | 1 | 4 | 40 |
| m-Dioxano | 2 | 3 | 0 | 16 |
| Dióxido de azufre | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Dióxido de cloro | 3 | 4 | 3 | 24 |
| Dioxolano | 2 | 3 | 2 | 24 |
| Dipropilenglicol | 0 | 1 | 0 | 4 |
| Disulfuro de carbono | 2 | 3 | 0 | 16 |
| Divinil-benceno | 1 | 2 | 2 | 24 |
| Divinil-éter | 2 | 3 | 2 | 24 |
| Dowtherm A | 2 | 1 | 0 | 4 |
| Epiclorhidrina | 3 | 3 | 2 | 24 |
| Estearato bárico | 0 | 1 | 0 | 4 |
| Estearato cálcico | 0 | 1 | 0 | 4 |
| Estearato de cinc | 0 | 1 | 0 | 4 |
| Estireno | 2 | 3 | 2 | 24 |
| Etano | 1 | 4 | 0 | 21 |
| 2-Etanolamina | 2 | 2 | 0 | 10 |
| Etilamina | 3 | 4 | 0 | 21 |
| Etil-benceno | 2 | 3 | 0 | 16 |
| Etilendiamina | 3 | 2 | 0 | 10 |
| Etilenglicol | 1 | 1 | 0 | 4 |
| Etilenimina | 3 | 3 | 2 | 24 |
| Etileno | 1 | 4 | 2 | 24 |
| Etil-propil-éter | 1 | 3 | 0 | 16 |
| c-Fenilfenol | 3 | 1 | 0 | 4 |
| Fenol | 3 | 2 | 0 | 10 |
| Formaldehído | 2 | 4 | 0 | 21 |
| Glicerina | 1 | 1 | 0 | 4 |
| Heptano | 1 | 3 | 0 | 16 |
| n-Hexanol | 2 | 2 | 0 | 10 |
| Hexano | 1 | 3 | 0 | 16 |
| Hidracina | 3 | 3 | 2 | 24 |
| Hidrógeno | 0 | 4 | 0 | 21 |
| Hidroperóxido t-butilo | 1 | 4 | 4 | 40 |
| Hidroperóxido de cumeno | 1 | 2 | 4 | 40 |
| Isobutano | 1 | 4 | 0 | 21 |
| Isopentano | 1 | 4 | 0 | 21 |
| Isopropanol | 1 | 3 | 0 | 16 |
| Isopropil-éter | 2 | 3 | 1 | 16 |
| Magnesio | 0 | 1 | 2 | 24 |
| Metano | 1 | 4 | 0 | 21 |
| Metanol | 1 | 3 | 0 | 16 |
| Metil-acetileno | 2 | 4 | 2 | 24 |
| Metilamina | 3 | 4 | 0 | 21 |
| Metil-ciclohexano | 2 | 3 | 0 | 16 |
| Metil-estireno | 2 | 2 | 0 | 10 |
| Metil-éter | 2 | 4 | 0 | 21 |
| Metil-etil-cetona | 1 | 3 | 0 | 16 |
| Metil-hidracina | 3 | 3 | 1 | 16 |
| Metil-isobutil-cetona | 2 | 3 | 0 | 16 |
| Metil-mercaptano | 2 | 4 | 0 | 21 |
| Monoclorobenceno | 2 | 3 | 0 | 16 |
| Monoetanolamina | 2 | 2 | 0 | 10 |
| Monóxido de carbono | 2 | 4 | 0 | 21 |
| Nafta | 1 | 3 | 0 | 16 |
| Naftaleno | 2 | 2 | 0 | 10 |
| Nitrato de butilo | 1 | 3 | 3 | 29 |
| Nitrato de etilo | 2 | 4 | 4 | 40 |
| Nitroetano | 1 | 3 | 3 | 29 |
| Nitroglicerina | 2 | 2 | 4 | 40 |
| Nitrometano | 1 | 3 | 4 | 40 |
| Nitropropano | 1 | 2 | 3 | 29 |
| 2-Nitrotolueno | 2 | 1 | 4 | 40 |
| Octano | 0 | 3 | 0 | 16 |
| Oxido de butileno | 3 | 3 | 2 | 24 |
| Oxido de difenilo | 1 | 1 | 0 | 4 |
| Oxido de etileno | 2 | 4 | 3 | 29 |
| Oxido de propileno | 2 | 4 | 2 | 24 |
| Pentano | 1 | 4 | 0 | 21 |
| Perclorato potásico | 1 | 0 | 2 | 24 |
| Peróxido de acetilo | 1 | 2 | 4 | 40 |
| Peróxido de bencilo | 1 | 4 | 4 | 40 |
| Peróxido de t-butilo | 1 | 3 | 3 | 29 |
| Peróxido de di-t-butilo | 1 | 3 | 4 | 40 |
| Peróxido de dicumilo | 0 | 2 | 3 | 29 |
| Peróxido de dietilo | 0 | 4 | 4 | 40 |
| Peróxido de laurilo | 0 | 2 | 3 | 29 |
| Propano | 1 | 4 | 0 | 21 |
| Propilenglicol | 0 | 1 | 0 | 4 |
| Propileno | 1 | 4 | 1 | 21 |
| Propionitrilo | 4 | 3 | 1 | 16 |

| Compuesto | Clasificación NFPA | | | Factor material |
|---|---|---|---|---|
| | Salud | Incendio | Reactividad | |
| Tolueno | 2 | 3 | 0 | 16 |
| 1,2,3-Triclorobenceno | 2 | 1 | 0 | 4 |
| 1,1,1-Tricloroetano | 3 | 1 | 0 | 4 |
| Tricloroetileno | 2 | 1 | 0 | 4 |
| Trietanolamina | 2 | 1 | 1 | 14 |
| Trietilaluminio | 3 | 3 | 3 | 29 |
| Trietilamina | 2 | 3 | 0 | 16 |
| Trietilenglicol | 1 | 1 | 0 | 4 |
| Triisobutilaluminio | 3 | 3 | 3 | 29 |
| Triisopropanol-amina | 2 | 1 | 0 | 4 |
| Triisopropil-benceno | 2 | 3 | 0 | 16 |
| Trimetilaluminio | 3 | 3 | 3 | 29 |
| Trimetilamina | 2 | 4 | 0 | 21 |
| Tripropil-amina | 2 | 2 | 0 | 10 |
| Vinil-acetileno | 1 | 4 | 3 | 29 |
| Vinil-alil-éter | 2 | 3 | 3 | 24 |
| Vinilciclohexano | 2 | 3 | 2 | 24 |
| Vinil-etil-éter | 2 | 4 | 2 | 24 |
| Vinil-tolueno | 2 | 2 | 1 | 14 |
| Xileno | 2 | 3 | 0 | 16 |

**Apéndice 3**

# Guía de los estudios de riesgos de accidente derivados del mal funcionamiento

(Publicado originariamente por el Consejo de Seguridad e Higiene de la Industria Química de la Asociación de Industrias Químicas con el título de *A guide to hazard and operability studies* (Londres, 1977); reproducido con la autorización de la Chemical Industries Association Limited del Reino Unido, titular del derecho de autor del material informativo.)

(Preparado inicialmente en la ICI y publicado para el uso general de la industria por representantes de BP Chemicals Limited, Chemical Industries Association Limited, ICI Central Safety Department, Shell Chemicals (UK) Limited, bajo los auspicios del Comité de Seguridad del Consejo de Seguridad e Higiene de la Industria Química [CISHEC].)

# Prólogo

La industria química se interesa continuamente en la innovación. Produce una corriente constante de nuevos procedimientos y productos que a veces requieren trabajar en condiciones extremas de temperatura, presión, escala de manejo o de toxicidad. Los cambios importantes producen, a su vez, una serie de cambios menores a medida que los conocimientos aumentan y que los procedimientos se hacen óptimos.

En la industria existe una considerable y creciente comprensión de la necesidad de aplicar métodos más sistemáticos de seguridad, particularmente en el diseño de la planta. Por otra parte, la sociedad en general ejerce una presión cada día mayor para que se establezcan normas perfeccionadas de seguridad.

Siempre que se realiza algo nuevo existe el peligro de que alguna parte del proceso no se comporte de la manera prevista y de que esa desviación tenga graves consecuencias para otras partes del proceso.

Una técnica concebida para estudiar esas desviaciones se conoce con la designación de *estudio de los riesgos relacionados con el funcionamiento*. En la publicación *Safety Audits* del Consejo de Seguridad de la Industria Química Británica, esa técnica se define de la manera siguiente:

> *La aplicación de un examen crítico sistemático y regular al proceso y a las intenciones técnicas de las nuevas instalaciones para evaluar el potencial de riesgo de accidente de un mal funcionamiento de un elemento individual del equipo y sus consecuencias sobre la instalación en conjunto.*

Esta técnica tiene por objeto estimular la imaginación de los proyectistas de una manera metódica, con el fin de que puedan poner al descubierto los riesgos potenciales de un diseño. Es extremadamente flexible. Puede aplicarse a las plantas de todo tipo de la industria, desde las grandes plantas continuas, como las de productos petroquímicos o de amoníaco, hasta los componentes de equipo patentados individuales, como los autoclaves o las máquinas que fabrican láminas de plástico, pasando por unidades de producción de lotes pequeños. La técnica puede ser utilizada por organizaciones grandes o pequeñas.

La presente guía presenta esta técnica de manera que sea posible tener una idea del método, su alcance y su valor.

## Nota sobre la presentación

El orden de los capítulos se ha concebido primeramente para dar a conocer los principios básicos de la técnica y situarla luego en su contexto.

La característica destacada de los estudios sobre los riesgos de accidente relacionados con el funcionamiento es la «reunión de examen», durante la cual un equipo multidisciplinario analiza de modo sistemático todas las partes pertinentes de un diseño sirviéndose de un método estructurado pero creativo. Como ésta es la clave de toda la tarea, se describe primero en un capítulo dedicado a los principios de examen.

Antes de proceder al examen se requiere cierto trabajo preparatorio y, naturalmente, se ha de realizar también un trabajo complementario para ocuparse de los riesgos expuestos y, documentarlos. En el capítulo 3 se describen los procedimientos prácticos para realizar un estudio sobre los riesgos de accidente relacionados con el funcionamiento. Estos estudios no son un fin en sí mismos, sino parte de un procedimiento general para iniciar, proyectar, construir, encargar y poner en funcionamiento una instalación. Los estudios se pueden llevar a cabo en diversas etapas, y el momento oportuno para hacerlos se examina en el capítulo 4.

En los apéndices se analizan otros aspectos. Los primeros tres apéndices tratan de las aplicaciones prácticas, con inclusión de ejemplos elaborados con respecto a plantas de diversos tipos. Posteriormente, se dan consejos prácticos acerca de cómo iniciar un estudio sobre los riesgos de accidente relacionados con el funcionamiento, cómo capacitar a las personas que han de realizarlo y cómo proporcionar un apoyo constante a los que se dedican a ello.

# Indice

**1. Introducción**

**2. Los principios de examen**

2.1 El concepto básico

2.2 Un ejemplo sencillo

2.3 Significados de las palabras-guía

2.4 Otros consejos sobre el empleo de las palabras-guía

**3. El procedimiento de estudio**

3.1 Definición de los objetivos

3.2 Composición del equipo

3.3 Trabajo preparatorio

3.4 El examen en la práctica

3.5 Trabajo complementario o de seguimiento

3.6 Anotación de los resultados

**4. La programación de los estudios**

4.1 Verificación temprana de los riesgos de accidentes mayores

4.2 Estudios en la etapa de «congelación del diseño»

4.3 Estudios antes de la puesta en marcha

4.4 Estudios de las plantas existentes

**5. Glosario**

**6. Agradecimientos**

**7. Bibliografía**

**Apéndices**

1 Aplicación a una planta de fabricación continua

2 Aplicación a una fábrica de producción por lotes

3 Aplicación a un elemento patentado del equipo

4 Cómo iniciar un estudio de los riesgos de accidentes en relación con el funcionamiento

5 Capacitación

6 Forma concreta de los estudios sobre los riesgos de accidentes en relación con el funcionamiento

## 1. Introducción

La seguridad en el diseño de las plantas de productos químicos depende primordialmente de la aplicación de diversos códigos de prácticas o códigos de diseño que se basan sobre la experiencia y los conocimientos teóricos amplios de los expertos profesionales y especialistas de la industria. Esa aplicación está respaldada por la experiencia de los directores de fábrica y los ingenieros nacionales que han participado en plantas análogas y que han tenido una experiencia directa en su funcionamiento.

Todo nuevo proyecto entraña algún elemento de cambio, pero en la industria química el grado de cambio de una planta a la siguiente es a menudo considerable. Conviene reconocer que el acervo de la experiencia acumulada recogida en los códigos, etc., está limitado por la extensión de los conocimientos actuales y sólo puede ser pertinente en la medida en que es posible aplicarla a nuevos productos, a nuevas plantas y a nuevos métodos de funcionamiento previstos en el nuevo diseño. En estos últimos años se ha puesto más claramente de manifiesto que, aun cuando los códigos de prácticas son sumamente valiosos, es particularmente importante *complementarlos* con una anticipación imaginativa de los riesgos cuando un nuevo proyecto entraña una nueva tecnología.

La necesidad de verificar los diseños para evitar errores y omisiones se ha reconocido desde hace largo tiempo, pero tradicionalmente esa verificación se lleva a cabo con carácter individual. Los expertos suelen aplicar sus conocimientos especiales o su experiencia para comprobar aspectos particulares del diseño. Por ejemplo, el ingeniero instrumental verificará los sistemas de control y, una vez que esté convencido de que los sistemas son satisfactorios, pondrá su señal de aprobación sobre el diseño y se lo pasará al «experto» siguiente. Este tipo de verificación individual, a condición de que se lleve a cabo de modo concienzudo, mejorará obviamente el diseño, pero es evidente que da pocas posibilidades de detectar los riesgos que entraña la interacción de diversas funciones o especialismos. Es probable que esos riesgos sean el resultado de una interacción imprevista de componentes o métodos de funcionamiento aparentemente seguros en condiciones excepcionales. Para estudiar esas interacciones en los nuevos diseños hacen falta los conocimientos combinados de un grupo de expertos. El conjunto de esos conocimientos teóricos y sus imaginaciones adiestradas pueden utilizarse para prever si una planta funcionará como se pretende en todas las circunstancias posibles.

En el presente informe se describe un método de trabajo para que un grupo de ese tipo pueda realizar su tarea de forma sistemática y cabal.

## 2. Los principios de examen

Como el procedimiento de examen es la parte fundamental de los estudios de esta categoría, se pone de manifiesto y se describe por separado en este capítulo.

### 2.1. El concepto básico

El procedimiento de examen consiste esencialmente en hacer una descripción completa del proceso, analizar de manera sistemática cada una de sus partes para descubrir cómo se pueden producir desviaciones de la intención del diseño y determinar si esas desviaciones pueden originar riesgos.

El análisis se concentra sucesivamente en cada una de las partes del diseño. Cada parte es objeto de un número de preguntas formuladas en torno a varias *palabras-guía* que se derivan de las técnicas del estudio de los métodos. En efecto, las *palabras-guía* se utilizan para que las preguntas formuladas con el fin de poner a prueba la integridad de cada parte del diseño sirvan para analizar todas las formas concebibles en que ese diseño podría desviarse del objetivo que se le había asignado. Se pueden descubrir así varias desviaciones teóricas y cada desviación se analiza a continuación para determinar cómo se podría producir y cuáles serían sus consecuencias.

Algunas de las causas pueden resultar poco realistas y en ese caso sus consecuencias se rechazarán como carentes de importancia. Algunas de las consecuencias pueden ser triviales y su estudio no se proseguirá. Sin embargo, puede haber algunas desviaciones cuyas causas sean concebibles y cuyas consecuencias sean potencialmente peligrosas. En ese caso, se toma nota de esos riesgos potenciales para adoptar medidas correctivas.

Después de examinar una parte del diseño y de anotar cualquier riesgo potencial relacionado con ella, el estudio pasa a concentrarse en la parte siguiente. El examen se repite hasta haber estudiado toda la planta.

El objetivo del examen es poner al descubierto toda posible desviación de la manera en que se espera que el diseño trabaje y todos los riesgos asociados con las desviaciones. Además, algunos de los riesgos son evitables. Si la solución es obvia y no es probable que cause efectos adversos en otras partes del diseño, se puede adoptar una decisión y modificar el diseño de inmediato. Sin embargo, esto no siempre es posible; por ejemplo, quizás sea necesario obtener más información. Por tanto, el resultado de los exámenes normalmente está constituido por una mezcla de decisiones y preguntas por contestar en reuniones posteriores.

Aunque puede parecer que el método descrito da origen de una manera mecánica a numerosas desviaciones hipotéticas, su éxito o su fracaso dependen de cuatro aspectos:

i) la precisión de los dibujos y otros datos utilizados como base para el estudio;

ii) los conocimientos técnicos y la perspicacia del equipo;

iii) la capacidad del equipo para utilizar el método *como un medio auxiliar* de su imaginación en la percepción de desviaciones, sus causas y consecuencias;

iv) la capacidad del equipo para mantener un sentido de la proporción, en particular cuando se evalúa la gravedad de los riesgos de accidente que se han puesto al descubierto.

Como el examen es muy sistemático y altamente estructurado, es necesario que quienes participan en él utilicen ciertas palabras y expresiones de una manera precisa y disciplinada. Los términos más importantes son los siguientes:

***Intención***

La *intención* define cómo se espera que funcione la pieza. Puede adoptar diversas formas y ser esquemática. En muchos casos será un diagrama de elaboración o lineal. En la sección 3.3 se describen otras formas.

***Desviaciones***

Se trata de desvíos de la intención que se descubren mediante la aplicación sistemática de las *palabras-guía*.

***Causas***

Son las razones por las que se pueden producir *desviaciones*. Una vez que se ha puesto de manifiesto que una *desviación* tiene una causa concebible o realista, puede tratarse como algo que tiene explicación.

***Consecuencias***

Son los resultados de las eventuales *desviaciones* que puedan producirse.

***Riesgos de accidentes***

Son las *consecuencias* que pueden causar daños, lesiones o pérdidas.

***Palabras-guía***

Son palabras sencillas que se utilizan para calificar la *intención* a fin de guiar y estimular el proceso de pensamiento creativo y descubrir así *desviaciones*. En el cuadro 1 figura una lista de *palabras-guía*.

### 2.2. Un ejemplo sencillo

Para ilustrar los principios del procedimiento de examen, imaginaremos una planta en la que las sustancias químicas A y B reaccionan para formar el producto C. Supongamos que el proceso químico es tal que la concentración de la materia prima B no debe exceder nunca a la de A, ya que de lo contrario podría producirse una explosión.

En la figura 1 se parte, digamos, de la tubería que se extiende del lado de aspiración de la bomba que aporta la materia prima A hasta donde penetra en el recipiente de reacción.

La *intención* se describe en parte por medio del diagrama y en parte por medio de los requisitos del control del proceso para transferir A a alguna velocidad específica. La primera *desviación* es la que se obtiene aplicando la *palabra-guía* NO a la *intención*. Esto se combina con la *intención* para dar:

NO TRANSFERIR A

El diagrama se examina luego para determinar las *causas* que podrían producir un cese completo de la corriente de A. Esas *causas* podrían ser:

i) el tanque de abastecimientos está vacío;

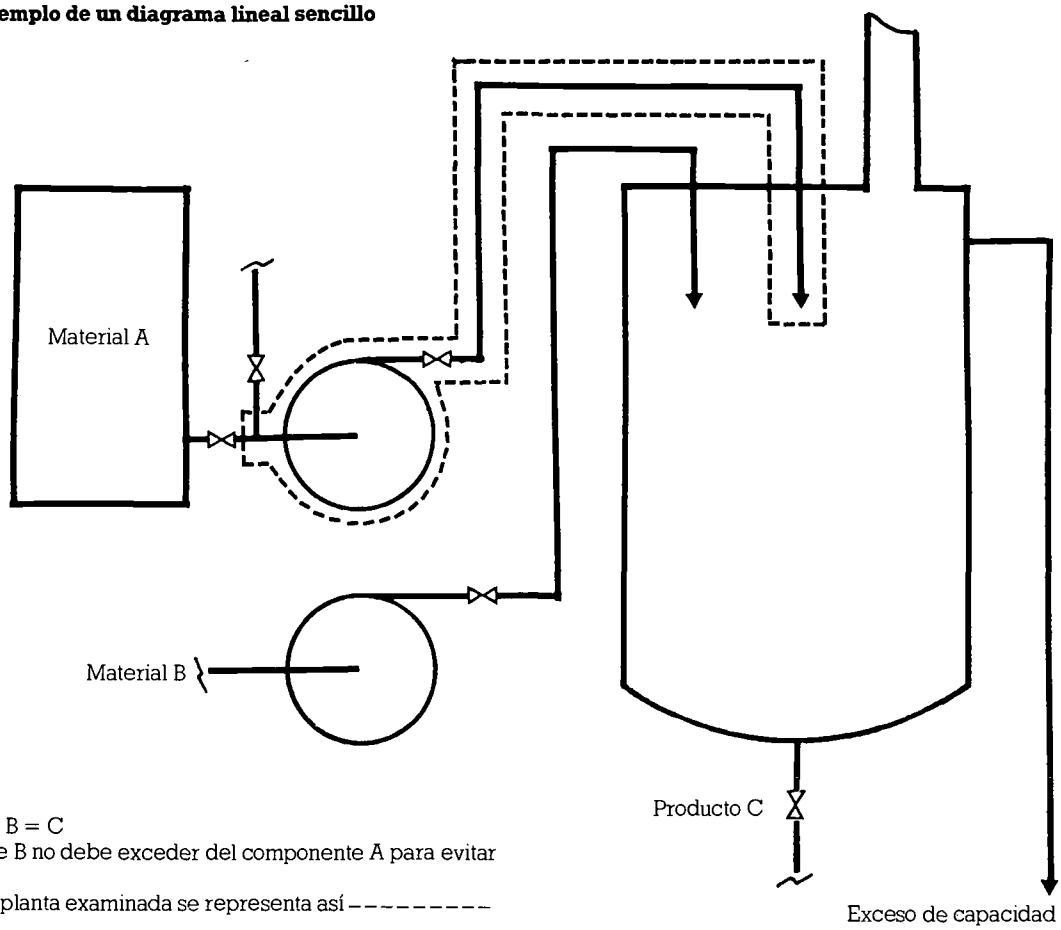
ii) la bomba no gira debido a:
- fallo mecánico;
- fallo eléctrico;
- la bomba está desconectada, etc.;

iii) la tubería se ha roto;

iv) la válvula de separación está cerrada.

Es evidente que por lo menos algunas de estas *causas* son concebibles, por lo que cabe decir que se trata de una *desviación* seria.

**Figura 1. Ejemplo de un diagrama lineal sencillo**




Reacción: A + B = C
El componente B no debe exceder del componente A para evitar una explosión
La parte de la planta examinada se representa así – – – – – – – –

A continuación se examinan las *consecuencias*. El cese completo de la corriente de A conduciría muy pronto a un exceso de B sobre A en el recipiente de reacción y, consecuentemente, a un riesgo de explosión. Hemos descubierto, por tanto, un *riesgo* en el diseño, del que se toma nota para examinarlo más a fondo.

Aplicamos ahora la *palabra-guía* siguiente que es MAS. La *desviación* es

HA PASADO MAS A AL RECIPIENTE DE REACCION

La *causa* sería que las características de la bomba pueden, en ciertas circunstancias, producir una velocidad de corriente excesiva. Si esta *causa* se acepta como realista, examinaremos las *consecuencias:*

i) la reacción produce C contaminado con un exceso de A que pasa a la etapa siguiente del proceso;

ii) la corriente excesiva que entra en el recipiente de reacción implica que parte de ella saldrá del recipiente por desbordamiento.

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

La *palabra-guía* siguiente es MENOS. La *desviación* es

HA PASADO MENOS A AL RECIPIENTE DE REACCION

Las *causas* son poco diferentes de las causas cuando la *desviación* consiste en el cese completo de la corriente de A:

i) la válvula de separación está ligeramente cerrada;

ii) la tubería está en parte bloqueada;

iii) la bomba no produce una corriente completa debido a que:

– las ruedas móviles están desgastadas, o

– las válvulas están desgastadas, etc.

La *consecuencia* es análoga a la del cese completo de la corriente, al igual que el *riesgo* potencial de una posible explosión.

A continuación se aplican otras cuatro *palabras-guía* a la *intención* del diseño de esta parte, para asegurarse de que se analizarán todas las *desviaciones* concebibles.

Cuando se ha examinado la tubería que introduce la materia prima A, se hace una marca en el diagrama para indicar que se ha verificado. Se elige a continuación la parte siguiente del diseño para estudiarla, que podría ser la tubería que introduce la materia prima B en el recipiente de reacción. Esta secuencia se repite con respecto a cada parte del diseño, cada tubería, los dispositivos auxiliares del recipiente, como los agitadores; las acometidas en el recipiente, como las destinadas a suministrar calor o refrigeración, y el propio recipiente. En la figura 2 hay un diagrama de la secuencia. A este enfoque particular se lo denomina a veces el método «línea por línea».

Sólo en circunstancias excepcionales queda constancia escrita de cada etapa del examen. Lo más normal es realizar las etapas mental y verbalmente en el debate y poner por escrito únicamente los *riesgos* potenciales y sus *causas*.

La medida propuesta se señala también, si se puede convenir de inmediato. Si existe alguna duda en cuanto a la medida o si hace falta más información, el asunto debe plantearse en una reunión ulterior.

### 2.3. Significados de las palabras-guía

En el ejemplo sencillo hemos mostrado los principios del método de examen indicando cómo se aplican las tres primeras palabras-guía. Estas suelen ser claras y producen desviaciones que se entienden con facilidad. Las cuatro restantes palabras-guía no son tan fáciles de aplicar y requieren alguna explicación complementaria. Sus significados se ilustran a continuación, tomando como referencia el ejemplo indicado en la figura 1.

Las dos desviaciones siguientes son cualitativas y se conserva la finalidad o intención del diseño original, total o parcialmente. En la primera desviación se producen algunos otros efectos conjuntamente con la finalidad del diseño. Las palabras-guía son ASI COMO y la desviación ASI COMO LA TRANSFERENCIA A. Esto puede significar:

i) La transferencia de algún componente además de A. Un examen del diagrama de la figura 1 muestra una línea adicional con una válvula de seguridad en la bomba aspirante. Si esa válvula no está cerrada, se podría transferir junto con A otro componente. Esto da origen a los posibles efectos de ese componente por sí solo o como un disolvente inerte de A.

ii) La transferencia de A a alguna parte además de su transferencia al reactor. La inspección del diagrama muestra que esto es posible. Podría, por ejemplo, ascender por la tubería de la parte aspirante de la bomba.

iii) La realización de otra actividad conjuntamente con la transferencia. Por ejemplo, ¿puede A hervir o descomponerse en las tuberías o en la bomba?

La otra desviación conexa es la que se produce cuando la finalidad o intención del diseño se ha realizado de manera incompleta. Las palabras-guía son PARTE DE y la desviación PARTE DE LA TRANSFERENCIA A. Esto puede significar:

i) Que falta un componente de A. En este caso, es necesario conocer la composición de A para evaluar los efectos del componente faltante.

ii) La omisión de uno o más reactores, si la bomba impele A hacia más de un reactor.

Las dos desviaciones finales son también cualitativas, pero no se conserva ninguna de las finalidades del diseño original. La primera de ellas se opone a la finalidad o intención del diseño. La palabra-guía es INVERTIDA y la desviación TRANSFERENCIA INVERTIDA DE A. Esto significa una corriente que regresa desde el reactor a través de la bomba. Se examina el diagrama para ver si esto es posible y se evalúan las consecuencias.

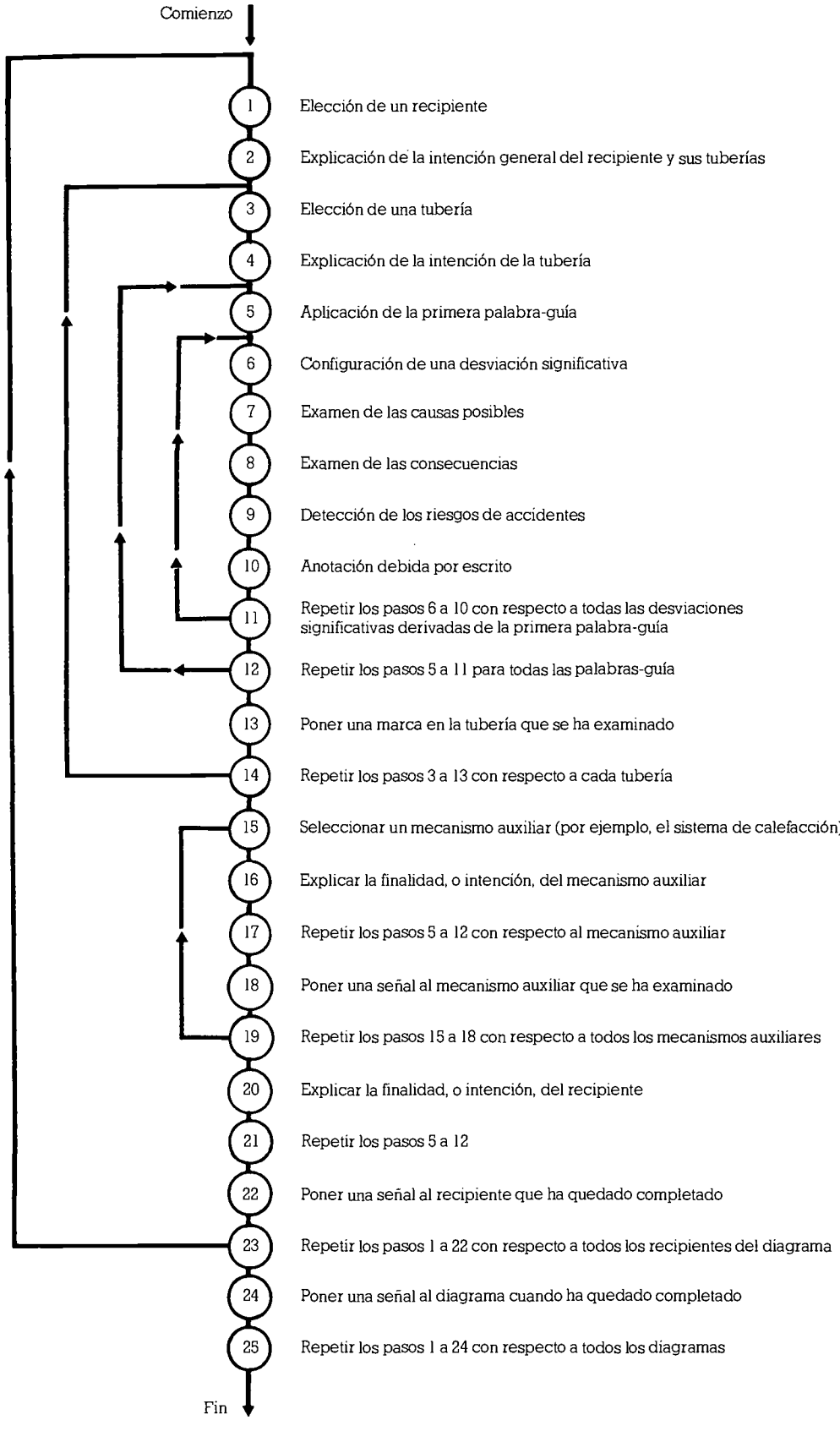
Por último, existe la sustitución absoluta de la finalidad del diseño por otra. Las palabras-guía son DISTINTA DE y la desviación es TRANSFERENCIA DISTINTA DE A. Esto puede significar:

i) La transferencia de un material diferente. Se examina el diagrama para ver si esto es posible. La sustitución puede producirse de diferentes formas. Por ejemplo, se puede suministrar el material erróneo o admitirse otro material a través de la pieza T en la parte aspirante de la bomba. Se debe reunir información sobre los materiales posibles y sus efectos.

ii) Un cambio del destino implícito, es decir, la transferencia de A a alguna parte distinta del reactor. La inspección del diagrama muestra que esto puede suceder a través de la pieza T.

iii) Un cambio en la naturaleza de la actividad. Por ejemplo, ¿puede solidificarse A, en lugar de que sea transferido?

**Figura 2. Secuencia detallada del examen**



### 2.4. Otros consejos sobre el empleo de las palabras-guía

En la sección anterior se han presentado las palabras-guía como un conjunto de palabras estándar que se pueden aplicar a las finalidades del diseño con el fin de obtener desviaciones hipotéticas. Su valor y aplicabilidad dependen de las finalidades a las que se aplican y de los modos posibles de desviación de esas finalidades.

Cuando se usan con respecto a finalidades amplias, son todas aplicables. Pueden también aplicarse en el nivel detallado de palabras o frases descriptivas. Sin embargo, cuando se aplican a finalidades expresadas de manera muy pormenorizada, pueden resultar necesarias algunas restricciones e incluso algunas modificaciones.

Cuando se aplican a una actividad como REACCIONAR o TRANSFERIR, es habitual que todas las palabras-guía engendren desviaciones conceptuales inteligibles. A veces una palabra-guía generará más de una desviación. Análogamente, cuando se aplican a sustancias, todas las palabras-guía, con la posible excepción de INVERSION, serán inteligibles. En este caso igualmente se puede producir más de una desviación. Por ejemplo, MAS VAPOR puede significar una mayor cantidad o velocidad del vapor (un aumento de la capacidad) o vapor a una mayor presión (un aumento de la intensidad).

Al abordar un nivel más detallado de la finalidad o intención del diseño, se tropezará con ciertas restricciones debido a que los modos posibles de desviación se reducen. Por ejemplo, supongamos que se está estudiando la intención del diseño para una temperatura de 100 °C. Las únicas formas posibles de desviación (si no tenemos en cuenta el 0 absoluto) son MAS, es decir, por encima de 100 °C, y MENOS, es decir, por debajo de 100 °C.

Cuando se aplican las palabras-guía a los aspectos temporales, MAS y MENOS pueden significar una duración mayor y menor o frecuencias mayores y menores. Sin embargo, cuando se aborda la secuencia o el tiempo absoluto, las palabras-guía adicionales MAS PRONTO o MAS TARDE dan una idea más clara que DISTINTO DE. Análogamente, cuando se analiza la situación, las fuentes o el destino, EN OTRAS PARTES es más útil que DISTINTO DE. En este caso, SUPERIOR e INFERIOR aportarán una mayor significación que MAS y MENOS con respecto a las desviaciones de la elevación.

Cuando se estudia la finalidad de un diseño que entraña una especificación compleja de temperaturas, coeficientes, composición, presiones, etc., puede ser preferible aplicar toda la secuencia de las palabras-guía a cada elemento individualmente, en lugar de aplicar cada palabra-guía a todo el conjunto de la especificación. Por otro lado, al aplicar palabras-guía a una frase puede ser más útil aplicar la secuencia de las palabras-guía a cada palabra o frase por separado, comenzado con la parte esencial que describe la actividad.

**Cuadro 1. Lista de palabras-guía**

Las palabras-guía se aplican a la finalidad o intención del diseño. La finalidad del diseño nos indica qué se espera que *haga* el equipo.

| Palabras-guía | Significado | Observaciones |
|---|---|---|
| NO | La negación completa de las finalidades | No se logran, ni siquiera en parte, las finalidades, pero no sucede nada más |
| MAS<br>MENOS | Aumentos o disminuciones cuantitativos | Estas palabras se refieren a las cantidades + propiedades como las velocidades de la corriente y las temperaturas, y actividades como «CALENTAR» y «REACCIONAR» |
| ASI COMO | Aumento cualitativo | Todas las finalidades del diseño y del funcionamiento se logran junto con alguna actividad adicional |
| PARTE DE | Disminución cualitativa | Sólo se alcanza alguna de las finalidades; otras no |
| INVERSION | La oposición lógica de la finalidad | Esto se aplica sobre todo a actividades, por ejemplo la inversión de la corriente o de la reacción química. Puede también aplicarse a sustancias, por ejemplo «VENENO» en lugar de «ANTIDOTO» o isómeros ópticos «D» en lugar de «L» |
| DISTINTO DE | Sustitución completa | No se consigue, ni siquiera en parte, la finalidad original. Sucede algo totalmente diferente |

## 3. El procedimiento de estudio

Los principios descritos en el capítulo anterior se ponen en práctica en un procedimiento que consta de las etapas siguientes:

i) definición de los objetivos y el alcance;
ii) selección del equipo;
iii) preparación del estudio;
iv) realización del examen;
v) actividades de seguimiento;
vi) registro de los resultados.

A continuación se examinan cada una de estas etapas de manera más detallada.

### 3.1. Definición de los objetivos

Los objetivos y el alcance de un estudio se deben indicar lo más explícitamente posible. Entre las razones para efectuar un estudio cabe mencionar las siguientes:

i) verificar un diseño;
ii) decidir si se ha de construir y dónde se hará (pero véase también la sección 4.1);
iii) decidir si se ha de comprar una pieza de equipo;
iv) obtener una lista de cuestiones que se han de plantear al abastecedor;
v) verificar las instrucciones del funcionamiento;
vi) mejorar la seguridad de las instalaciones existentes.

Es también necesario determinar los tipos de riesgo que se han de tomar en consideración, por ejemplo:

i) para las personas que trabajan en una planta;
ii) para la planta y el equipo;
iii) para la calidad del producto y debido a ésta;
iv) para el público en general;
v) para el medio ambiente.

Habrá que determinar los límites físicos de la planta que se va a estudiar y si se deben incluir las interacciones con unidades o edificios próximos. Es preciso especificar cualquier limitación de tiempo o financiera. Asimismo, es necesario indicar si algunos aspectos, como los relacionados con la ingeniería civil o la química, se pueden dar por sentados y excluir de modo deliberado.

Los objetivos generales de un estudio suelen ser indicados por la persona responsable del proyecto de la planta; por ejemplo, el director del proyecto, el ingeniero del proyecto o el director de la fábrica. Normalmente, para efectuar esa determinación, éste cuenta con la asistencia de un jefe de estudio (véase 3.2). El estudio lo realizará un equipo y se ha decidir el grado de autoridad que se otorgará a ese equipo. La determinación es mucho más fácil si el director tiene un conocimiento del planteamiento; en el apéndice 5 se examinan los cursos de capacitación para el personal directivo.

### 3.2. Composición del equipo

Los estudios sobre los riesgos relacionados con el funcionamiento corren normalmente a cargo de equipos multidisciplinarios. Los miembros de esos equipos pueden ser de dos tipos: los que hacen la aportación técnica y los que desempeñan un papel de apoyo y de estructuración.

#### *Miembros técnicos de los equipos*

El examen exige que el equipo tenga un conocimiento detallado de la manera en que se tiene intención que funcione la planta. Esto significa la cooperación entre los que se preocupan por el diseño de la planta y los encargados de su funcionamiento. La técnica del empleo de las palabras-guía da origen a numerosas cuestiones. Para la mayor parte de los fines, es esencial que el equipo esté constituido por el número de personas dotadas de conocimientos y experiencias suficientes que haga falta para responder a la mayoría de las preguntas que se formulen sin recurrir a otros expertos.

A título de ejemplo, para el examen de una pequeña planta de productos químicos típica se requeriría un equipo constituido por un miembro de cada una de las categorías siguientes:

Ingeniero mecánico
Ingeniero químico
Químico de investigación y desarrollo
Director de producción
Director de proyecto responsable del proyecto en conjunto

Este grupo debe disponer de los conocimientos especializados suficientes a fin de aportar la técnica necesaria. Además, si algunos miembros del equipo tienen al mismo tiempo cierta responsabilidad con respecto al diseño de una planta, estarán motivados de manera particular para producir un diseño atinado y un procedimiento de funcionamiento seguro. Normalmente, los miembros del equipo tendrán la autoridad necesaria para efectuar cambios. La combinación de disciplinas

variará según el tipo de proyecto. Algunos proyectos requerirán la inclusión de diferentes disciplinas, como:

Ingeniería de instrumentos y eléctrica
Ingeniería civil
Farmacia, etc.

El equipo no debe ser demasiado grande, sino que debe contar, idealmente, con tres a cinco miembros técnicos. Si un estudio parece requerir un gran número de personas, vale la pena tratar de dividirlo en varias partes separadas con cierta variación de la composición del equipo, respecto de cada parte.

La capacitación de los miembros del equipo se examina en el apéndice 5.

***Miembros de apoyo del equipo***

Como las reuniones de examen están sumamente estructuradas y son muy sistemáticas, es necesario que alguien controle el debate. Llamaremos a esta persona el «jefe del estudio».

El jefe del estudio tiene un papel que desempeñar a lo largo de toda su duración. Debe ayudar a la persona que ha encargado el estudio a definir su alcance. Puede contribuir a la selección y formación del equipo. Asesorará a la reunión acerca de los datos necesarios y puede prestar asistencia para que se dé a éstos la forma adecuada. Sin embargo, su función más evidente surge durante las reuniones de examen, en las que dirige las preguntas de manera sistemática, para lo que debe estar debidamente adiestrado. No es aconsejable que tenga que hacer una aportación técnica importante. De ser posible, no debe haber estado estrechamente relacionado con el tema del estudio, ya que existe el peligro de que se originen puntos débiles y se deje de utilizar la técnica en forma objetiva. Con todo, debe tener un conocimiento técnico suficiente para comprender y controlar las deliberaciones del equipo. En el apéndice 5 se examinan las características y formación que necesita.

Además del jefe del estudio, a veces es conveniente contar con otro miembro de apoyo del equipo para que anote los riesgos a medida que se detectan. A esta persona se le da el nombre de «secretario» o «amanuense» del estudio. Quizás parezca excesivo emplear a dos personas en una función de apoyo. No obstante, la experiencia indica que este arreglo aumenta considerablemente el ritmo de trabajo del equipo en conjunto. Es mejor emplear a siete personas durante dos días que a seis personas durante cuatro días para efectuar un estudio determinado. La capacitación de los secretarios se examina asimismo en el apéndice 5.

***La actitud de los miembros del equipo***

Es imperativo que el equipo en conjunto tenga una actitud positiva y constructiva con respecto al estudio, ya que su éxito depende en última instancia de las ideas innovadoras de sus miembros.

Esta actitud positiva debe promoverse desde la etapa de la definición en adelante. Una formación adecuada sirve de gran ayuda y debe crear un clima en el que los miembros del equipo estén deseosos de iniciar el estudio. A veces, durante las reuniones de examen algunos miembros del equipo consideran el método aburrido, pero un equipo bien dirigido obtiene al final de cuentas considerable satisfacción de su trabajo de diseño cuando es objeto de tal análisis cabal.

### 3.3. Trabajo preparatorio

La cuantía de trabajo preparatorio requerido depende de la dimensión y complejidad de la planta. En el caso más simple, un grupo de personas pueden trabajar juntas durante un par de horas sobre un diagrama sencillo y completar un estudio. En general, hace falta más preparación. El trabajo preparatorio consta de cuatro etapas:

i) obtener los datos;
ii) dar a los datos una forma adecuada;
iii) planificar la secuencia del estudio;
iv) organizar las reuniones necesarias.

Por lo general, los datos constan de varios diseños en forma de diagramas lineales, diagramas de fabricación, planos de disposición de la fábrica, líneas isométricas y dibujos de fabricación. Además, puede haber instrucciones de funcionamiento, diagramas de control de la secuencia de los instrumentos, diagramas lógicos y programas de computadora. A veces hay manuales de la planta y manuales de los fabricantes del equipo.

Deben comprobarse los datos a fin de asegurarse de que son lo suficientemente completos para abarcar el área definida de estudio, y se debe resolver cualquier discrepancia o ambigüedad en ellos. La cantidad de trabajo requerida para dar a los datos una forma adecuada y planificar la secuencia del estudio varía según el tipo de planta.

En las plantas de funcionamiento continuo, el trabajo preparatorio es mínimo. Los diagramas de fabricación o los diagramas de tuberías e instrumentos existentes

contienen una información suficiente para el estudio y es necesario verificar que existen bastantes copias de cada diseño. De modo análogo, la secuencia del estudio es clara. El equipo de estudio comienza al principio del proceso y va siguiendo progresivamente sus diversas etapas. En el apéndice 1 figuran una lista de las plantas típicas de este tipo junto con un ejemplo elaborado de parte de un estudio.

Dada la relativa sencillez del estudio de los procesos de funcionamiento continuo, la mayor parte de esta sección y la mayor parte del material de los ejemplos elaborados (véanse los apéndices 2 y 3) están dedicadas a las situaciones más complejas que se dan en la fabricación por lotes.

En las plantas que fabrican por lotes, el trabajo preparatorio suele ser más amplio. Además de los diseños que describen la propia planta, es necesario conocer la secuencia de las operaciones de la planta. Esto se consigue de diversas formas: por ejemplo, mediante instrucciones de funcionamiento, diagramas lógicos o diagramas de secuencia de los instrumentos. En algunas circunstancias (por ejemplo, cuando se está procesando al mismo tiempo más de un lote de material) es necesario preparar una descripción en la que se indique la situación de cada recipiente sobre una base temporal. En este caso, los operarios pueden participar físicamente en el proceso (por ejemplo, cargando los recipientes) o limitarse a controlarlo, y sus actividades han de representarse por medio de diagramas de proceso.

A veces no será posible seguir un diagrama de fabricación desde el comienzo y continuar con las fases descendentes. En este caso, el equipo comenzará con la primera instrucción de funcionamiento y aplicará las palabras-guía a ella (o a parte de ella) y se remitirá al diagrama lineal, a los diagramas del proceso, etc. El jefe del estudio preparará normalmente un plan para la secuencia del estudio antes de inciarlo. En el apéndice 2 figura una lista de plantas típicas de este tipo junto con un ejemplo simplificado.

Con algunos tipos de partidas de equipo patentado y complicado, el trabajo preparatorio puede ser largo y requerir más días-hombre que el propio examen. Los fabricantes de equipo raras veces suministran información suficiente en la forma adecuada para el estudio y, por regla general, no existen diagramas de fabricación que muestren la plena integración de un elemento patentado del equipo en la planta existente. Algunas veces se montan en serie diversos elementos patentados de diferentes fabricantes.

El jefe del estudio prepara con frecuencia un modelo adecuado que se ajusta a la aplicación de la técnica al equipo. Ese modelo puede incluir un gráfico de sus relaciones con los operarios y con otras plantas. Este trabajo preparatorio suele requerir un largo diálogo entre el ingeniero del proyecto y el jefe del estudio, y en ocasiones se necesita asimismo la participación de los fabricantes. El jefe del estudio preparará un plan para el estudio y examinará el modelo y el plan con el equipo antes de iniciar el estudio. En el apéndice 3 figuran un ejemplo y una lista del equipo típico que podría analizarse de esta forma.

Una vez que se han reunido los datos y se ha elaborado el modelo (de ser necesario), el jefe del estudio está en condiciones de organizar reuniones. El primer requisito consiste en calcular las horas del equipo necesarias para efectuar el estudio. Esto se puede llevar a cabo de diversas maneras. Por regla general, cada parte individual que se ha de estudiar (por ejemplo, cada tubería principal de un recipiente) absorberá por término medio quince minutos del tiempo del equipo. El ejemplo sencillo mostrado en la figura 1 llevaría hora y media, sobre la base de dedicar quince minutos a cada una de las dos entradas, a cada una de las dos salidas, al respiradero y al propio recipiente.

Por tanto, cabe hacer un cálculo, tomando en consideración el número de tuberías y de recipientes. Otra forma de hacer un cálculo aproximado consiste en asignar dos horas y media a cada recipiente. Se deben prever asimismo quince minutos a cada afirmación verbal simple, como «conectar el conductor», «puesta en marcha del motor», «puesta en marcha del transportador».

Una vez que se han calculado las horas del equipo necesarias, el jefe del estudio (o el secretario) puede considerar la organización de reuniones. Lo ideal es limitar la duración de las sesiones de examen a tres horas (de preferencia durante la mañana). Los períodos más largos de examen no son convenientes debido a que, habitualmente, la eficacia empieza a disminuir pasado ese tiempo. En condiciones de presión del tiempo extrema, se han celebrado sesiones de examen durante dos días consecutivos, pero ese programa sólo se debe intentar realizar en circunstancias muy excepcionales.

De ser posible, no debe haber más de dos sesiones por semana para realizar el trabajo de seguimiento o

complementario descrito en la sección 3.5. Esto puede originar dificultades cuando los miembros del equipo tienen que desplazarse al lugar de reunión.

Las sesiones de examen deben organizarse en salas donde no haya distracciones y que posean mesas con mucho espacio para diagramas, gráficos, etc.

Cuando se trata de proyectos de gran capital, a menudo un solo equipo no puede realizar todos los estudios dentro de los límites de tiempo impuestos. En consecuencia, quizás resulte necesario utilizar una multiplicidad de equipos y jefes de equipo. En ese caso, uno de los jefes de equipo debe actuar como coordinador y asignar diversas secciones del diseño a diferentes equipos y preparar calendarios para todo el estudio.

### 3.4. El examen en la práctica

En la sección 2 ya se han descrito los principios, y la finalidad del presente capítulo consiste en facilitar asesoramiento práctico sobre cómo se han de aplicar esos principios.

Las sesiones de examen están muy estructuradas y el jefe del estudio controla el debate siguiendo su plan predeterminado. Si el enfoque se basa sobre el diagrama de producción, elige el primer recipiente y pide al equipo que explique su función general. Luego elige una tubería u otro elemento del diseño y pide al equipo que explique su finalidad. Esto no siempre es sencillo, pero a menos que todos los miembros del equipo sepan exactamente qué función se supone que ha de cumplir algo, no se podrán producir desviaciones. Se utiliza un método análogo, si la secuencia del estudio se basa sobre las instrucciones de funcionamiento.

El jefe del estudio aplica a continuación la primera palabra-guía y comienza el debate del equipo. A veces es necesario, en particular con un equipo falto de experiencia, que el jefe del estudio estimule el debate formulando otras preguntas como: «¿Puede detenerse el flujo?» o «¿Tiene importancia que se detenga?». En la medida de lo posible, el jefe del equipo debe limitarse a hacer preguntas de sondeo. El equipo debe no sólo proporcionar las respuestas técnicas, sino ser estimulado para que utilice su imaginación y reflexione sobre todas las desviaciones y los propios riesgos.

A medida que se detecten los riesgos de accidentes, el jefe del estudio debe asegurarse de que todos los miembros los entienden. Como se ha mencionado antes, el grado de solución de los problemas durante las sesiones de examen puede variar. Hay dos posiciones extremas:

i) Se halla una solución para cada riesgo de accidente que se detecta antes de examinar el riesgo siguiente.
ii) No se comienza a buscar soluciones hasta que se han detectado todos los riesgos.

En la práctica se opta por una posición intermedia. Quizás no sea apropiado o ni siquiera posible que un equipo encuentre una solución durante una reunión. Por otro lado, si la solución es clara y local, cabe adoptar una decisión, y el diseño y la instrucción de funcionamiento se pueden modificar de inmediato. En cierta medida, la capacidad para adoptar decisiones rápidas depende del tipo de planta que se está estudiando. Con una planta de funcionamiento continuo, una decisión adoptada en un punto del diseño puede no invalidar las decisiones anteriores relativas a partes de la planta en las que se efectúan operaciones anteriores que ya se han estudiado. Sin embargo, siempre hay que tomar en consideración esta posibilidad. Para las plantas que fabrican por lotes con un control de secuencia, cualquier alteración del diseño o modo de funcionamiento puede tener amplias repercusiones.

Si se señala una cuestión para efectuar una evaluación futura, se toma también nota de la persona designada para seguir su examen.

El jefe del estudio debe hacer un resumen al final del debate del equipo, antes de pasar a la palabra-guía siguiente. Sin embargo, debe mantener un ritmo suficiente para evitar que el equipo se aburra y también para respetar en la medida de lo posible el calendario convenido. Con este fin, quizás sea necesario suspender un debate erudito entre dos expertos sugiriendo que el punto de ese acuerdo se anote y se resuelva fuera de la reunión.

Aunque el jefe del estudio se haya preparado adecuadamente, la técnica permite profundizar mucho y puede poner al descubierto lagunas en el modelo o en los conocimientos de los miembros del equipo. A veces puede resultar necesario explayarse sobre algunos aspectos durante la reunión o incluso aplazar ciertas partes del estudio para obtener más información.

Una vez que se ha examinado a fondo una sección de tubería o un recipiente o una instrucción de

funcionamiento, el jefe del estudio debe hacer en su ejemplar la marca correspondiente. Esto permite garantizar que el examen será completo. Otra forma de proceder consiste en que, cada vez que se ha examinado una parte del diseño, el jefe del estudio certifique que el examen ha quedado completado en la casilla correspondiente del diagrama.

Ya se ha mencionado que algunas veces se recurre a un secretario del estudio, así como a un jefe del estudio. Se suele recurrir a los secretarios en alguna de las circunstancias siguientes:

i) cuando el examen se debe realizar muy rápidamente debido a presiones de tiempo sobre los miembros del equipo;
ii) cuando el estudio es complejo y el jefe debe orientar al equipo utilizando de manera simultánea diversas fuentes de información (por ejemplo, diagramas, instrucciones de funcionamiento, diagramas de control de secuencia y diagramas de obstáculos). El empleo de un secretario permite que el jefe se concentre en dirigir el estudio.

### 3.5. Trabajo complementario o de seguimiento

El seguimiento de las sesiones de examen no suele plantear problemas. Si se han de adoptar decisiones con respecto a los cambios de diseño o de los métodos de funcionamiento, éstos deben comunicarse a los responsables. Cualquier problema pendiente debe resolverse mediante la obtención de más información seguida de medidas, y debe haber cierta forma de perseguir el progreso.

Algunas veces el resultado de las sesiones de examen consiste en gran parte o exclusivamente en preguntas que se han de contestar más tarde. El jefe del estudio (o el secretario) puede compilar una lista de las preguntas para distribuírsela a los miembros del equipo. Tras un intervalo, el equipo se vuelve a reunir en lo que se denominan «sesiones de evaluación y acción». En éstas se repasa cada cuestión, se anotan los progresos logrados y, cuando es posible, se adoptan decisiones. Una sesión de evaluación y acción puede tratar del resultado de dos o tres sesiones de examen.

Una vez que se ha descubierto un riesgo, por lo común se convendrá el tipo de medida requerida para proporcionar un sistema seguro con bastante rapidez, debido a que a menudo existe una medida correctiva evidente a mano. Con todo, en algunos casos resulta manifiesto que existen varias medidas posibles y el equipo tendrá cierta dificultad para acordar cuál es la línea de acción más eficaz. Las medidas para frenar los riesgos suelen ser de cuatro categorías:

i) un cambio en el proceso (fórmula, materiales, etc.);
ii) un cambio en las condiciones del proceso (presión, temperatura, etc.);
iii) una alteración del diseño físico;
iv) un cambio del método de funcionamiento.

Es importante examinar un amplio conjunto de posibles medidas y no excluir que todos los riesgos se pueden y se deben contener simplemente por medio de una alteración del diseño físico.

Al hacer una opción entre diversas medidas posibles, puede resultar útil clasificarlas en dos categorías:

i) las medidas que suprimen la causa del riesgo;
ii) las medidas que reducen sus consecuencias.

En general, es preferible y más eficaz suprimir el riesgo y, a condición de que el estudio se realice en la etapa del diseño, esto se suele hacer sin gasto excesivo (véase también la sección 4.1). Si no hay posibilidades razonables de suprimir el riesgo, el equipo tendrá que considerar qué se puede hacer para proteger a las personas y a la planta, si se produce el accidente.

Para ilustrar el tipo de razonamiento aplicable, consideremos un recipiente de reacción en el que, en una sesión de examen, se descubrió que si se introdujera una impureza con alguna de las materias primas, en el recipiente se produciría una evolución repentina del gas y de la presión.

Supongamos que el riesgo se pudiera frenar adoptando alguna de las tres medidas siguientes:

i) eliminación de la posibilidad de la evolución del gas mediante la modificación de la materia prima responsable del problema;
ii) eliminación de la posibilidad de la evolución del gas modificando alguna de las condiciones del proceso;
iii) incorporar un sistema adecuado de reducción de la presión y de salida para proteger la planta.

La solución i) será 100 por ciento eficaz y debe ser la primera opción.

La solución ii) debe considerarse con atención, ya que su adecuación dependerá de la fiabilidad del sistema de control que rige la condición del proceso.

La solución iii) sólo es adecuada si el sistema de salida se puede diseñar para hacer frente a la evolución del gas y si la fiabilidad de ese sistema es aceptable.

El *análisis del riesgo* es una técnica para decidir la línea de acción que se ha de seguir cuando deben tomarse en consideración varias posibilidades. Un examen de esta técnica queda fuera del alcance del presente libro, y las referencias 2 a 7 dan más información. Sin embargo, se debe insistir en que la evaluación de los riesgos es sólo tan convincente como la información que se utiliza para efectuar su cálculo. Los resultados son un riesgo estadístico para la vida y los bienes, y deben aceptarse como una orientación para indicar si es necesario adoptar medidas y qué línea de acción resultará con probabilidad más eficaz teniendo en cuenta los gastos en que se incurre.

Cuando se ha decidido modificar un diseño, método de funcionamiento, etc., a menudo es necesario someter la nueva finalidad del diseño a una segunda ronda de exámenes para asegurarse de que el cambio no ha introducido un riesgo nuevo e imprevisto.

Por último, se debe insistir en que las actividades complementarias al seguimiento no quedan finalizadas hasta que se han abordado todos los riesgos de accidente reconocidos mediante la aplicación de todas las medidas convenidas.

### 3.6. Anotación de los resultados

Una actividad importante del equipo del estudio consiste en anotar sus resultados. Una forma útil de registro es la creación de un «archivo de riesgos», el cual contiene:

i) una copia de los datos (diagramas de producción, instrucciones de funcionamiento, diagramas de obstáculos, modelos, etc.) utilizados por el equipo durante las sesiones de examen y marcados por el jefe del estudio cuando han sido examinados;
ii) un ejemplar de todos los documentos de trabajo, preguntas, recomendaciones, nuevos diseños, etc., producidos por el equipo y otras personas como resultado del estudio.

El archivo debe conservarse en la planta para que sea una fuente de información, si el personal de funcionamiento contempla posteriormente la posibilidad de introducir cambios.

Además, los resultados de un estudio pueden ser también objeto de un informe especialmente preparado. Esto es habitual si el estudio incluye una cuantificación de riesgos particulares. Asimismo, se pueden redactar informes para orientación del personal directivo u otros profesionales, si un estudio tiene algunas características interesantes o excepcionales.

El registro oficial del estudio puede tener en el futuro otras repercusiones. Por ejemplo, un estudio bien realizado puede influir en las primas de seguros o contribuir a la planificación de los permisos.

Por último, la información obtenida gracias a los estudios se puede utilizar para mejorar los diseños futuros.

## 4. La programación de los estudios

Hasta ahora, el procedimiento del estudio de los riesgos de accidentes en relación con el funcionamiento se ha examinado de modo independiente y no en relación con los proyectos principales como un todo. El mejor momento para realizar un estudio es la etapa de «congelación del diseño», es decir, cuando el diseño es bastante firme. En esa etapa se han aportado oficialmente detalles suficientes a la intención del diseño para que el mecanismo de los estudios del riesgo en relación con el funcionamiento, que es esencialmente inquisitivo, obtenga respuestas útiles. Al mismo tiempo, es posible modificar el diseño de la planta sin incurrir en gastos innecesarios.

Cualquier intento de llevar a cabo un estudio de los riesgos relacionados con el funcionamiento propiamente dicho en una etapa temprana, antes de que el diseño esté plenamente determinado, no dará resultado debido a que no se dispondrá de detalles suficientes. Sin embargo, se puede utilizar el método de la «lista de verificación» complementaria en una etapa muy temprana de un proyecto, en la etapa de «definición del proyecto», cuando los principales parámetros y esquemas del diseño se han decidido, pero antes de que comience el diseño pormenorizado. Este método se describe en la sección 4.1.

Los estudios de los riesgos en relación con el funcionamiento se pueden realizar cuando ha quedado completada en gran parte la construcción, pero antes de que entre en servicio. Los estudios en esa etapa son particularmente útiles como una verificación de las instrucciones de funcionamiento. No obstante, la corrección de las faltas del diseño en esa etapa puede resultar cara y provocará retrasos.

Asimismo, se puede efectuar un estudio de una planta existente. El principal beneficio es también en este caso el mejoramiento de los métodos de funcionamiento.

### 4.1. Verificación temprana de los riesgos de accidentes mayores

Es muy conveniente estudiar los *riesgos principales*, con inclusión de la posibilidad potencial de una interacción desastrosa entre las plantas, en una etapa muy temprana de la elaboración de un proyecto. En esta guía se incluye una técnica para llevar a cabo esa verificación, aunque no se trate en sentido estricto de un estudio de los riesgos en relación con el funcionamiento, porque si se utiliza facilitará de manera considerable un estudio completo de los riesgos en relación con el funcionamiento cuando éste se lleve luego a cabo en la etapa de la «congelación del diseño».

Un requisito fundamental consiste en poner al descubierto los riesgos principales. Una vez que éstos se conocen, es posible adoptar ciertas *decisiones fundamentales* como:

i) dónde se debe ubicar la planta;
ii) cuál debe ser el emplazamiento de la planta dentro del lugar con respecto a sus límites, la situación de otras fábricas, etc.;
iii) qué aspectos particulares del diseño tendrán necesidad de una elaboración especial para prevenir los riesgos;
iv) qué otras investigaciones son necesarias a fin de obtener la información (toxicidad, inflamabilidad, etcétera) requerida para producir un diseño eficaz.

La determinación de los riesgos principales puede resultar bastante fácil una vez que se establecen los *parámetros generales* siguientes:

i) Materiales:
   - Materias primas
   - Productos intermedios
   - Productos
   - Efluentes
ii) Operaciones de la unidad de dependencia:
   - Mezclado
   - Destilación
   - Secado, etc.
iii) Trazado o plan:
   - Disposición de las unidades donde se llevan a cabo las actividades dentro de la planta
   - Relaciones espaciales con otras instalaciones

Estos parámetros generales deben estudiarse luego a su vez, cuando se les aplique una lista de verificación de los *riesgos de accidentes mayores*. Un lista de verificación útil para la mayor parte de las fábricas de productos químicos es la siguiente:

| | |
|---|---|
| Incendio | Ruido |
| Explosión | Vibraciones |
| Detonaciones | Materiales nocivos |
| Toxicidad | Electrocución |
| Corrosión | Asfixia |
| Radiaciones | Fallo mecánico |

Desde luego, cabe añadir otros riesgos para tipos particulares de procesos.

Cuando los riesgos potenciales se aplican a su vez a los parámetros generales, cualquier combinación significativa puede indicar un riesgo importante y, en ese caso, éstos se deben examinar en relación con la lista de decisiones fundamentales.

Unos cuantos ejemplos ilustrarán el procedimiento:

Una combinación significativa de INTERMEDIO X e INCENDIO puede poner de relieve que los límites de inflamabilidad no se conocen y se deben obtener antes de diseñar de manera apropiada un secador.

Una combinación significativa de GAS EFLUENTE y TOXICIDAD inducirá a reconsiderar el emplazamiento y el tratamiento del gas efluente.

Una combinación significativa de MATERIAS PRIMAS, INCENDIO y ALMACENAMIENTO DE NITROGENO LIQUIDO inducirá a reconsiderar la disposición de la zona de almacenamiento.

Este procedimiento puede ser aplicado muy rápidamente por un pequeño grupo de personas experimentadas.

El método de la lista de verificación ayuda a garantizar la compatibilidad en una etapa temprana y puede emplearse para evaluar las relaciones recíprocas entre una planta y otra, y entre una planta y el medio ambiente.

La verificación de los riesgos de accidentes mayores se debe llevar a cabo cuando se dispone del tiempo suficiente para efectuar alteraciones importantes y fundamentales en el concepto del diseño. Al realizar un estudio de los riesgos en relación con el funcionamiento más detallado en una etapa posterior, sólo se deben detectar riesgos menores que requerirán únicamente pequeñas modificaciones o cambios del diseño de los métodos de funcionamiento para frenar dichos riesgos.

### 4.2. Estudios en la etapa de «congelación del diseño»

Este es el momento más oportuno para realizar un estudio de los riesgos de accidentes en relación con el funcionamiento. Los planos son, por definición, exactos. El personal del diseño sabrá en ese momento por qué la planta se ha proyectado de una manera determinada. Si se elabora un diagrama de producción sustancialmente modificado para cada sección, al equipo le resultará difícil saber si una sección particular se ha estudiado en su forma definitiva.

Sin embargo, es posible llevar a cabo un estudio de elementos del equipo patentados en cualquier momento, incluso antes de que se haya adoptado una decisión de comprarlos, debido a que el diseño ya estará establecido por el fabricante.

Análogamente, es posible realizar un estudio de secciones de una planta cuyos diseños estén establecidos y detallados antes que otros. No obstante, se debe poner cuidado en examinar éstos más tarde para asegurarse de que en las interacciones con otras secciones de la planta no se han introducido nuevos riesgos.

### 4.3. Estudios antes de la puesta en marcha

Es posible realizar un estudio cuando la construcción está sustancialmente terminada y se han redactado las instrucciones de funcionamiento preliminares. Si se ha llevado a cabo un estudio completo en la fase de «congelación del diseño» y si la persona que preparará las instrucciones de funcionamiento era un miembro del equipo del estudio, no debe ser necesario realizar otro estudio en esa etapa. Con todo, podría ser útil en las condiciones que se indican a continuación:

i) cuando haya habido algún cambio sustancial de la finalidad del diseño en una etapa muy tardía;
ii) cuando las instrucciones de funcionamiento sean muy críticas;
iii) cuando la nueva planta sea una copia de una planta existente con muchos cambios en los procesos principales, más que en el equipo.

Será preciso asegurarse de que los diagramas lineales describen con precisión la planta tal como está construida.

### 4.4. Estudios de las plantas existentes

Si bien se debe seguir haciendo hincapié en las nuevas plantas, también deben entenderse los riesgos de accidente potenciales de las plantas existentes. Estas últimas pueden seguir en funcionamiento durante muchos años y se pueden modificar o volver a poner en funcionamiento varias veces durante su existencia. A menos que esas modificaciones se hayan manejado de forma muy meticulosa, pueden comprometer los márgenes de seguridad o los conceptos de seguridad incorporados en el diseño de la planta original.

Los recursos son probablemente limitados y, por consiguiente, hace falta algún método para elegir las plantas existentes que se han de estudiar. La selección puede proceder de una reacción emotiva a algún incidente reciente ocurrido en la planta que se estudia o una planta análoga. Si bien esa reacción es comprensible, no significa de modo necesario que los recursos limitados se estén dedicando al estudio de plantas que presentan los riesgos generales mayores. En consecuencia, se sugiere que se tengan en cuenta varios factores, entre ellos los siguientes:

i) una comprobación de la seguridad ha mostrado que es conveniente efectuar un estudio más detallado;
ii) han sucedido acontecimientos o accidentes anormales;
iii) un procedimiento de clasificación como el de la *Dow Index* ha mostrado que esta planta tiene un alto potencial de riesgo;
iv) la planta seguirá en servicio por mucho tiempo;
v) la planta se ha modificado considerablemente;
vi) es conveniente estudiar una planta particular en relación con otras plantas con las que interactúa.

Cuando se adoptan disposiciones para estudiar una planta existente, se debe prever un tiempo adicional para el trabajo preparatorio, puesto que los diagramas lineales y las instrucciones de funcionamiento están a menudo anticuados.

En la etapa de definición hace falta poner más cuidado que el habitual. El equipo elaborará recomendaciones y algunas de éstas podrán requerir cambios importantes en la planta. Conviene que esté absolutamente claro quién será el responsable de la aplicación de esas recomendaciones. Será asimismo necesario instalar un eficaz procedimiento de seguimiento y búsqueda del progreso. Este procedimiento normalmente existe en lo que respecta al nuevo proyecto principal, pero puede no existir en la misma medida cuando se están introduciendo modificaciones en una planta ya construida.

## 5. Glosario

| | |
|---|---|
| ESTUDIOS DE LOS RIESGOS EN RELACION CON EL FUNCIONAMIENTO | La aplicación de un examen crítico sistemático y regular de las finalidades del proceso y de los elementos técnicos de instalaciones nuevas o existentes para evaluar el riesgo potencial de un mal funcionamiento o un mal manejo de elementos individuales del equipo y sus efectos sobre la instalación en conjunto. |
| DEFINICION DEL ESTUDIO | Declaración del objetivo y alcance de un estudio. |
| FINALIDADES DEL DISEÑO Y DEL FUNCIONAMIENTO | La forma en que se tiene intención que funcione el proceso y el equipo en condiciones normales y en condiciones anormales previstas. |
| MODELO | Representación de esas finalidades o intenciones de una forma adecuada para que los técnicos la estudien. En la mayoría de los casos, los dibujos convencionales, etc., son adecuados y no se requiere ninguna representación especial. |
| DIAGRAMA DEL PROCESO | Diagrama en el que se indica la secuencia de un flujo de actividades utilizando símbolos como los de las normas de la Sociedad Estadounidense de Ingeniería Mecánica (ASME). |
| DESVIACION | Abandono de la finalidad del diseño y del funcionamiento. |
| RIESGO | Desvío que puede causar daños, lesiones u otras formas de pérdida. |
| EQUIPO DEL ESTUDIO | Pequeño grupo de personas (normalmente de tres a seis) que realizan el estudio. |
| SESIONES DE EXAMEN | Períodos (normalmente de unas tres horas) durante los cuales el equipo del estudio analiza sistemáticamente el diseño para detectar riesgos. |
| PALABRAS-GUIA | Durante las sesiones de examen, el equipo del estudio trata de imaginarse todas las posibles desviaciones de cada finalidad del diseño y del funcionamiento. En líneas generales, existen siete categorías de desviación, cada una de las cuales puede estar asociada a una palabra o frase característica. Conjuntamente, esas palabras se designan como «palabras-guía» porque cuando se emplean en asociación con un diseño y la finalidad del funcionamiento guían y estimulan la reflexión creativa con respecto a desviaciones apropiadas. |
| DEBATE DEL EQUIPO | La parte de la sesión de examen que sigue al hecho de aplicar una palabra-guía a una finalidad del diseño y durante la cual los miembros del equipo deducen desviaciones significativas, determinan si son peligrosas y qué medidas se deben adoptar en consecuencia. |

SESIONES DE EVALUACION Y ACCION

En ciertas circunstancias, no es apropiado adoptar decisiones definitivas durante las sesiones de examen y, en cambio, se deben plantear una serie de cuestiones para su evaluación posterior. En estas circunstancias, se celebran otras sesiones en las que se examina cada cuestión, se comunican los resultados de las investigaciones y se adoptan decisiones.

MIEMBROS TECNICOS DEL EQUIPO

Son los miembros del equipo del estudio cuya principal aportación consiste en explicar el diseño, utilizando los conocimientos prácticos, la experiencia y la imaginación durante el debate del equipo y adoptando decisiones sobre las modificaciones.

JEFE DEL EQUIPO

Persona capacitada en la metodología de los estudios de los riesgos en relación con el funcionamiento, que asesorará y prestará asistencia para la recepción del estudio en general, y en particular, utilizando las palabras-guía, estimulará los debates del equipo y velará por que se consideren todos los aspectos durante las sesiones de examen. A falta de un secretario del estudio (véase *infra*), tomará también nota de las medidas o cuestiones que surjan durante esas sesiones.

SECRETARIO DEL ESTUDIO

Se trata de un papel facultativo. El secretario ayuda a organizar las diversas sesiones, toma notas durante las sesiones de examen y distribuye las listas de medidas o de cuestiones resultantes.

## 6. Agradecimientos

Esta guía se basa en un informe del Sr. R. E. Knowlton y del Dr. D. K. Shipley, de la División de Productos Farmacéuticos de la ICI. En ella se han tenido también en cuenta observaciones útiles de personas que realizan estudios de los riesgos en relación con el funcionamiento en otras secciones de la ICI. Deseamos también expresar nuestro agradecimiento al Dr. H. G. Lawley por habernos autorizado a utilizar su ejemplo de Chem. Eng. Prog., de abril de 1974, en el apéndice 1.

La guía ha sido preparada, para uso general de la industria, por representantes de:

BP Chemicals Ltd.
The Chemical Industries Association Ltd.
ICI Central Safety Department
Shell Chemicals (UK) Ltd.

## 7. Bibliografía

1 Lawley, H. G. Abril de 1974. *Operability Studies and Hazard Analysis*, Chem. Eng. Prog.

2 Farmer, F. R. 1971. *Major Loss Prevention in the Process Industries*, I. Chem. E. Symposium Series núm. 34, pág. 82.

3 Stewart, R. M. 1971. *Major Loss Prevention in the Process Industries*, I. Chem. E. Symposium Series núm. 34, pág. 99.

4 Houston, D. E. L. 1971. *Major Loss Prevention in the Process Industries*, I. Chem. E. Symposium Series núm. 34, pág. 210.

5 Bullock, B. C. Abril de 1974. *The development and application of quantitative risk criteria for chemical processes*, Fifth Chemical Process Hazard Symposium, I. Chem. E. (Manchester).

6 Kletz, T. A. 1971. *Hazard Analysis – A Quantitative Approach to Safety*, I. Chem. E. Symposium Series núm. 34.

7 Melinek, S. J. *Methods of determining the optimum level of safety expenditure*, Building Research Establishment Current Paper, CP88/74.

8 Raybould, E. B., y Minter, A. L. 1971. *Problem Solving for Management* (Londres, Management Publications), págs. 86–90.

9 Nadler, G. 1963. *Work Design* (Homewood, Illinois, Irwin).

10 Whitmore, D. A. 1988. *Work Study and Related Management Services* (Londres, Heinemann), pág. 183.

## Apéndice 1

### Aplicación a una planta de fabricación continua

La elaboración original del método basado sobre los diagramas de fabricación de las plantas se efectuó al aplicar la técnica a plantas grandes de fabricación còntinua en una única serie, y ha habido una amplia utilización de la técnica en esta aplicación.

A continuación se indican algunas de las plantas de fabricación continua más características que se han estudiado:

Plantas de metanol
Plantas de amoníaco
Plantas de productos petroquímicos
Plantas de cloro
Plantas de sosa comercial

Como ejemplo del empleo de la técnica para poner al descubierto insuficiencias en el diseño y señalar requisitos de funcionamiento importantes en el caso de un proceso de fabricación continua, a continuación figura una sinopsis de parte de un documento de H. G. Lawley (referencia 1).

El sistema estudiado es la sección de alimentación de una dependencia propuesta de dimerización de la olefina, cuyo diseño preliminar es el que se muestra en la figura 3 y cuyo proceso se describe como sigue:

«Una fracción de alqueno/alcano que contenga pequeñas cantidades de agua suspendida se impulsa por bombeo constantemente desde el recipiente intermedio a granel por conducto de una tubería de media milla a la cisterna reguladora o asentadora. El agua residual se asienta antes de pasar por conducto del intercambio térmico alimento/producto y del precalentador a la sección del reactor. El agua, que produce un efecto negativo sobre la reacción de dimerización, se deja correr manualmente de la cisterna de asentamiento a intervalos. El tiempo de permanencia en la sección del reactor debe ajustarse a límites estrictamente determinados para garantizar una conversión adecuada del alqueno y evitar una formación excesiva de polímero.»

En el cuadro 2 se resumen los resultados de la sección de la primera línea desde el almacenamiento intermedio hasta la cisterna reguladora y se indica también la manera de reconocer la necesidad de medidas.

Es imprescindible velar por que, antes de iniciar un examen, se determine claramente la finalidad del diseño. En el caso particular que se da en este ejemplo la finalidad es:

*Transferir una fracción de alqueno/alcano de una composición especificada de un almacenamiento intermedio hasta la cisterna reguladora/asentadora de alimentación a un ritmo y a una temperatura especificados y tal como se indica en la figura 3.*

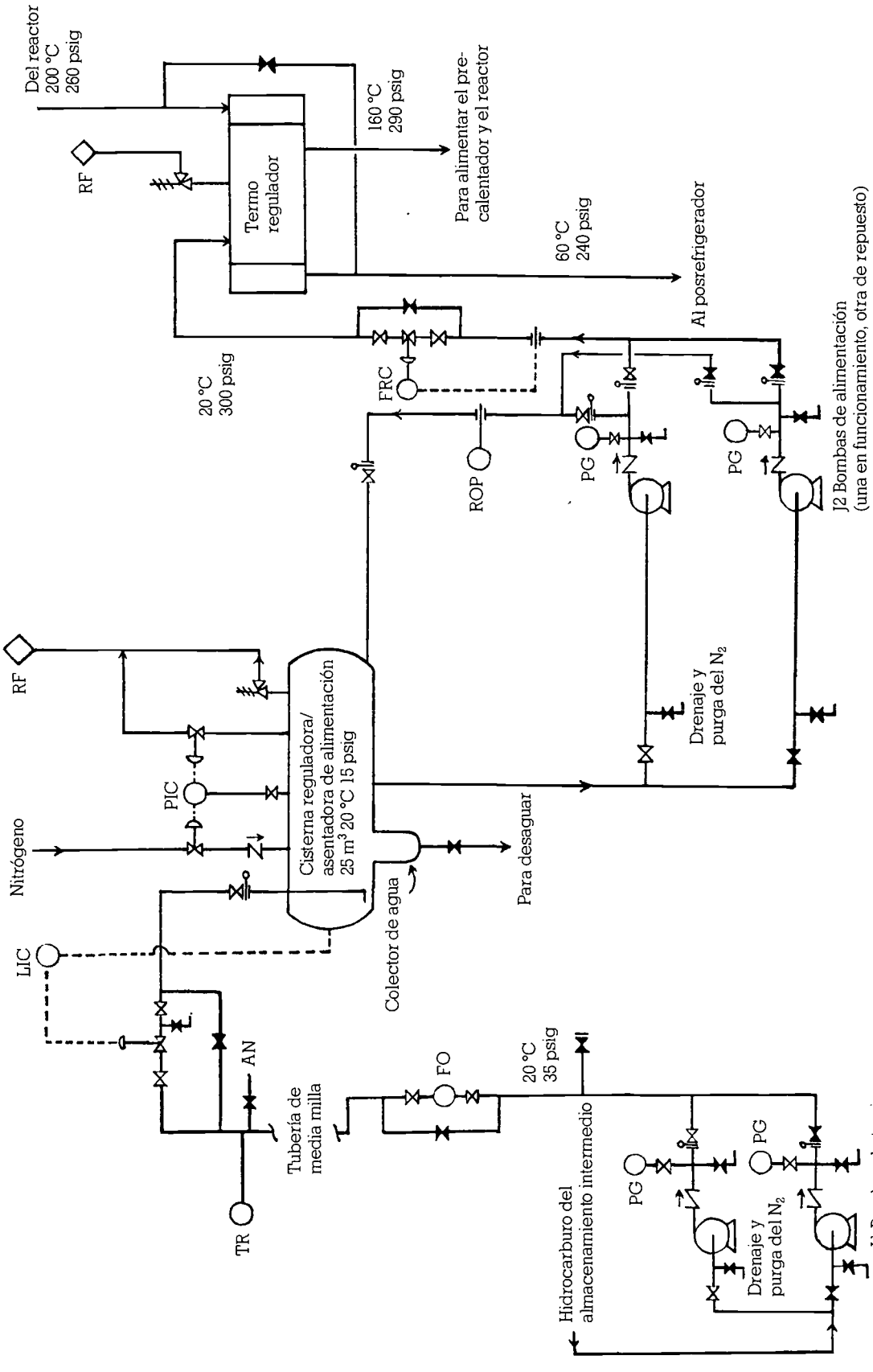



**Figura 3. Sección de alimentación del proyecto de planta de dimerización de la olefina**

**Cuadro 2. Estudio de viabilidad de las unidades de dimerización de olefina propuestas: Resultados de la sección de canalización del almacenamiento intermedio al tanque separador/depósito de sedimentación**

Las palabras-guía se aplican a la intención del diseño que indica la función que se espera DESEMPEÑE el equipo

| Palabra-guía | Desviación | Causas posibles | Consecuencias | Medidas requeridas |
|---|---|---|---|---|
| No | NO HAY FLUJO | 1) No se dispone de hidrocarburo en el almacenamiento | Pérdida de alimentación a la sección del reactor y reducción del producto. Se forma polímero en el termopermutador sin que haya corriente | *a)* Garantizar buenas comunicaciones con el operador del almacenamiento intermedio<br>*b)* Instalar una alarma de nivel inferior al montar el tanque LIC |
| | | 2) La bomba J1 falla (fallo del motor, pérdida de la capacidad de arrastre, corrosión del impulsor, etc.) | Como en 1) | Abarcado por *b)* |
| | | 3) Bloqueo de la canalización, cierre erróneo de la válvula de aislamiento o falta de cierre de la válvula de comunicación | Como en 1)<br>La bomba J1 se calienta excesivamente | Abarcado por *b)*<br>*c)* Instalar dispositivos de retro-alimentación en las bombas J1<br>*d)* Verificar el diseño de los depuradores de las bombas J1 |
| | | 4) Fractura de la canalización | Como en 1)<br>Descarga de hidrocarburos en zonas adyacentes a carreteras públicas | Abarcado por *b)*<br>*e)* Establecer una vigilancia e inspección regulares de la canalización de trasiego |
| Más | MAS FLUJO | 5) La válvula del canal de comunicación no se abre o deja de abrirse por error | El depósito de sedimentación desborda | *f)* Instalar una alarma de alto nivel en LIC y verificar la dimensión de la reducción necesaria para evitar el desbordamiento del líquido<br>*g)* Establecer un procedimiento de esclusa para desviarse de la válvula del conducto de comunicación cuando no se utiliza |
| | | | Separación incompleta de la fase del agua en la cisterna que produce problemas en la sección de reacción | *h)* Extender el conducto de succión de la bomba J2 hasta 12 en la base del tanque de más arriba |
| | MAS PRESION | 6) Cierre de la válvula de aislamiento por error o cierre de la válvula del conducto de comunicación mientras está en funcionamiento la bomba J1 | La línea de trasiego está sometida a todo el caudal de la bomba con una presión de variación rápida | *i)* Abarcado por *c)* salvo cuando el dispositivo de retroalimentación se bloquea o está aislado. Verificar el conducto, la frecuencia y la calibración de las bridas y reducir la velocidad del pistón de la válvula del conducto de comunicación, si es necesario. Instalar un manómetro antes de la válvula del conducto de comunicación y un manómetro independiente en el depósito de sedimentación |

| Palabra-guía | Desviación | Causas posibles | Consecuencias | Medidas requeridas |
|---|---|---|---|---|
| Más *(continuación)* | | 7) Expansión térmica en una sección con válvula aislada debida a un incendio o a una fuerte luz solar | Fractura del conducto o escape de las bridas | *j)* Instalación de una descarga de expansión térmica en la sección dotada de válvulas (la línea de descarga se decidirá más tarde en el estudio) |
| | MAS TEMPERATURA | 8) Temperatura elevada del almacenamiento intermedio | Presión superior en el conducto de trasiego y en el tanque de sedimentación | *k)* Verificar si se cuenta con un dispositivo de alerta de alta temperatura suficiente en el almacenamiento intermedio. De lo contrario, instalarlo |
| Menos | MENOS FLUJO | 9) El escape de la brida o tubo corto de la válvula no se ha taponado y continúa | Pérdida de material adyacente a carretera pública | Abarcadas por *e)* y las verificaciones en *i)* |
| | MENOS TEMPERATURA | 10) Condiciones invernales | El conducto del sumidero y del drenaje de agua se congela | *l)* Hacer descender el sumidero de agua hasta la válvula de drenaje y la válvula de drenaje y el conducto de drenaje de vapor a la salida |
| Así como | PRESENCIA DE ACIDOS ORGANICOS | 11) Perturbación en los tubos de destilación antes del almacenamiento intermedio | Mayor ritmo de corrosión de la base de la cisterna, el sumidero y el conducto de drenaje | *m)* Verificar la idoneidad de los materiales de construcción |
| Parte de | ALTA CONCENTRACION DE AGUA EN LA CORRIENTE | 12) Alto nivel del agua en las cisternas de almacenamiento intermedio | El sumidero de agua se llena más rápidamente. Mayor posibilidad de que la fase del agua pase a la sección de reacción | *n)* Organizar un drenaje frecuente del agua de la cisterna de almacenamiento intermedio. Instalar un sistema de alarma alta en el nivel de interfase en el sumidero |
| | ALTA CONCENTRACION DE ALCANOS INFERIORES O DE ALQUENOS EN LA CORRIENTE | 13) Perturbación en los tubos de destilación antes del almacenamiento intermedio | Mayor presión del sistema | *o)* Verificar que el diseño del depósito de sedimentación y las tuberías conexas, incluida la calibración de la válvula de seguridad, podrán hacer frente a una súbita entrada de hidrocarburos más volátiles |
| Distinto de | MANTENIMIENTO | 14) Fallo del equipo, escape de las bridas, etc. | El conducto no puede drenarse o limpiarse completamente | *p)* Establecer un drenaje bajo y una unidad de depuración de $N_2$ antes de la válvula del conducto de comunicación. También dar salida al $N_2$ en el depósito de sedimentación |

Nota: No se pusieron de manifiesto riesgos de accidente, del examen de PRESION INVERSA o MENOR.

## Apéndice 2

### Aplicación a una fábrica de producción por lotes

Muchos de los productos más especializados fabricados por la industria química se producen en plantas que fabrican total o parcialmente por lotes.

En la lista que figura a continuación se indican los productos que suelen fabricarse por lotes:

Productos orgánicos generales intermedios
Tintes
Productos químicos especializados, como los antioxidantes
Fármacos a granel
Productos de fermentación
Algunos polímeros
Varios «productos compuestos» se fabrican por lotes, entre ellos:
- Los productos farmacéuticos
- Las pinturas
- Los catalizadores
- Las emulsiones fotográficas
- Los cosméticos
- Productos con fórmulas especiales

Las características generales de las plantes que fabrican por lotes, en comparación con las plantas de fabricación continua, son las siguientes:

i) por definición, el estado de las diversas partes de la planta se modifica cíclicamente con respecto al tiempo y, por tanto, un diagrama lineal sólo da una idea muy incompleta;
ii) los procesos suelen ser de fases múltiples, las dependencias individuales se utilizan para fines múltiples y la planta en conjunto es un producto múltiple. En consecuencia, existen muchas interconexiones posibles entre las unidades o dependencias;
iii) los operarios pueden participar físicamente en algunas de las actividades del proceso, como retirar el producto de los filtros.

A título de ejemplo de la aplicación de la técnica a un proceso de fabricación por lotes, examínese la planta hipotética mostrada en la figura 4. La figura representa una planta con dos recipientes de medición, cuatro recipientes de reacción, un condensador, una torre de absorción con su sistema de circulación y un filtro de succión con su colector filtrado. Esta planta es típica, aunque se ha simplificado omitiendo la mayor parte de las conexiones con los recipientes, los tubos de ventilación, las entradas de gas inerte, las cápsulas de seguridad, los agitadores, los colefactores y refrigeradores de las camisas, etc.

Además del diagrama del proceso, se habrán preparado instrucciones de funcionamiento. Normalmente, estas instrucciones consisten en cuadros que contienen el número de la operación, una descripción de ésta, las precauciones que se han de adoptar y, por último, una columna para que el operario ponga sus iniciales una vez que la operación ha quedado completada. En el cuadro 3 figura un esquema típico de las instrucciones de funcionamiento relativas a este ejemplo hipotético.

Puede ser conveniente preparar un diagrama de barras que muestre el estado de cada pieza del equipo a lo largo de un ciclo completo del lote. Por ejemplo, en este caso, mientras se está filtrando el lote 1, el lote 2 se puede estar sometiendo a reacción en el recipiente 3 y el lote 3 transfiriéndose del recipiente 1 al recipiente 2, al mismo tiempo que se llenan los recipientes de medición para preparar el lote 4. De la preparación de estos diagramas de barras se suele ocupar la dirección de la planta.

Por último, puede resultar necesario trazar un diagrama de los movimientos del operario. Este aspecto se examinará en detalle en el apéndice 3.

Como parte del trabajo preparatorio, el jefe del estudio debe preparar (por lo menos mentalmente) y planificar un programa para el estudio. En primer lugar, deberá decidir si se va a estudiar la planta en una secuencia derivada del diagrama del proceso o en la secuencia de las instrucciones sobre el funcionamiento.

Supongamos que ha decidido utilizar la secuencia de las instrucciones sobre el funcionamiento. Las primeras instrucciones se referirán a varias actividades preparatorias, poniendo en marcha los agitadores y abriendo el agua de refrigeración, verificando los recipientes y poniendo en funcionamiento la torre de absorción, etc., así que cabe iniciar este ejemplo con la instrucción 23 (cuadro 3), que dice lo siguiente: «Cargar 100 l del material C del tambor en el recipiente de medición para fines generales utilizando el eyector de aire.»

Si bien esta instrucción es perfectamente adecuada a los fines operacionales con un operario capacitado, es demasiado compleja para utilizarla a fin de generar

**Cuadro 3. Modelo característico de instrucciones de funcionamiento**

| Núm. | Operación | Precauciones | Iniciales |
|---|---|---|---|
| 23 | Cargar 100 l del material C del tambor al recipiente de medición con fines generales utilizando el eyector de aire | Llevar puesta una máscara con tubo de aire, guantes de cloruro de polivinilo y un mandil | |
| 24 | Transferir 100 l del material C del recipiente de medición con fines generales al recipiente 1 a través de la placa perforada | Asegurarse de que el flujo sólo pasa a través de la placa perforada | |

desviaciones. El jefe del estudio tiene que determinar si debe ocuparse de cada instrucción como parte de su preparación o durante las sesiones de examen efectivas. En este caso, la instrucción se puede dividir en una parte relativa al eyector de aire y la parte restante relacionada con la transferencia del líquido.

El jefe del estudio pedirá a un miembro del equipo que describa la finalidad del eyector de aire. Esta finalidad se podría definir como «retirar algo de aire del recipiente de medición». Las palabras-guía se aplican a esta declaración y el equipo concentra su atención en el recipiente de medición y en sus dispositivos de conexión con los resultados que muestra el cuadro 4.

La segunda parte de la Instrucción 23 será: «Cargar 100 l del material C al recipiente de medición» y esta instrucción se podrá utilizar tal como está. Se aplicarán las palabras-guía con los resultados que muestra el cuadro 5.

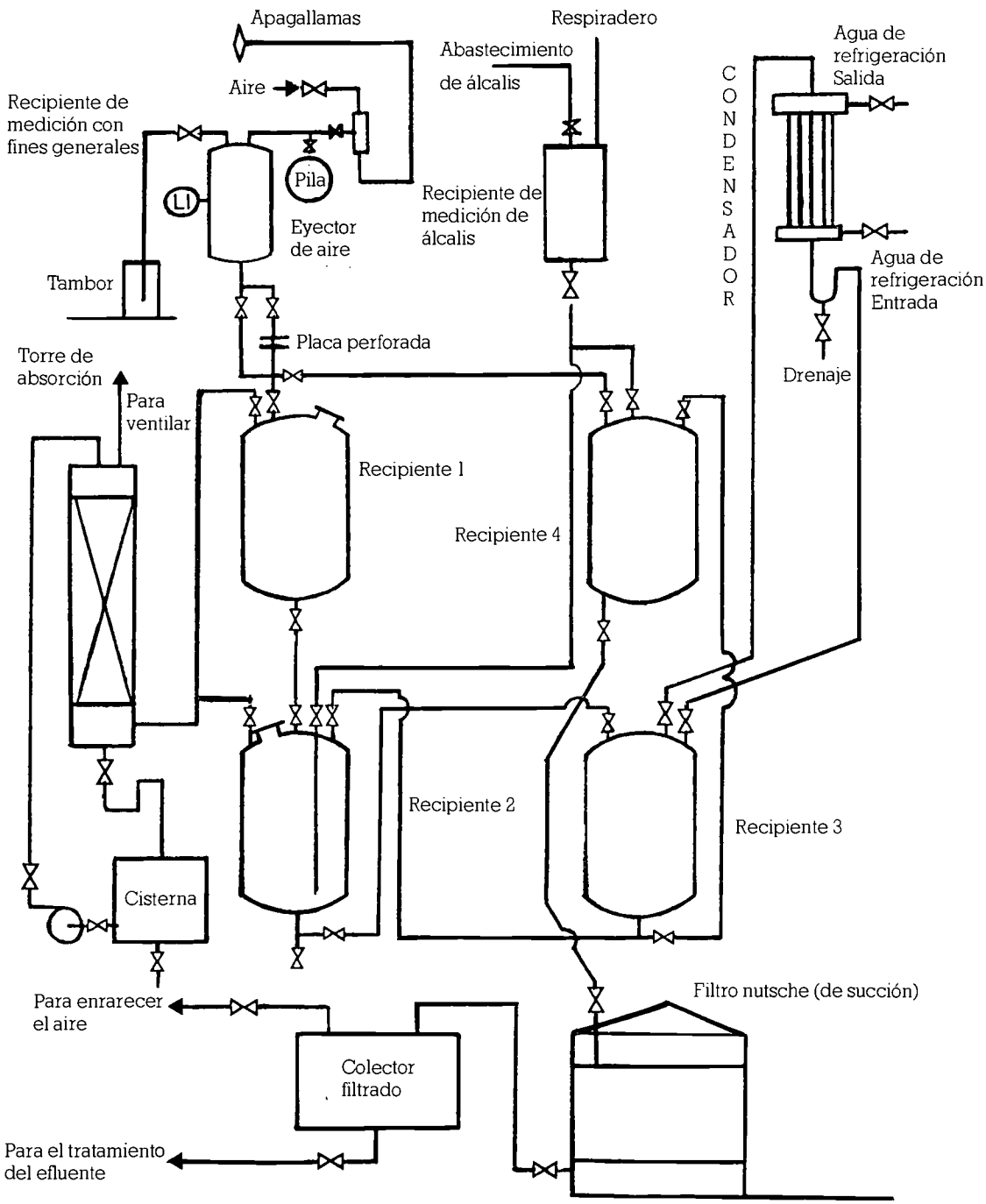
El equipo podrá ocuparse de la solución rápida de algunos problemas. Por ejemplo, varios de los riesgos puestos al descubierto se suprimirán introduciendo en la Instrucción 23 la frase final «utilizando el vacío residual», y el equipo se podría poner de acuerdo sobre esta modificación en esta fase. La instrucción se marcará como examinada.

El equipo pasará luego a la Instrucción 24 que dice: «Transferir 100 l del material C del recipiente de medición con fines generales al recipiente 1 a través de la placa perforada». Aunque esa instrucción es suficientemente sencilla para efectuar el examen sin dividirla en partes, no es totalmente explícita. El jefe del estudio pedirá a un miembro del equipo que aclare exactamente la finalidad. El objetivo podría ser suministrar C a un ritmo controlado para evitar una reacción excesiva. A continuación comienza el examen con los resultados que aparecen en el cuadro 6.

En este caso igualmente el equipo puede proceder a la resolución de algunos problemas. Por ejemplo, si decide instalar otro recipiente de medición especializado y completado con una placa perforada para el material C, evitará así algunos de los riesgos. A condición de que esto se pueda realizar de manera sencilla, habría que modificar el dibujo y las instrucciones y verificarlos sobre el terreno. Sin embargo, si hubiera cualquier complicación – por ejemplo, el acoplamiento de dos recipientes de medición a una único eyector de aire – es muy posible que haya que decidir las modificaciones fuera de las sesiones de examen. El jefe del estudio marcará también en este caso la Instrucción 24 como examinada y pasará a la Instrucción 25.

Aunque una de las finalidades de todo estudio de riesgos de accidentes en relación con el funcionamiento consiste en verificar la seguridad del equipo, también se trata de verificar los procedimientos, en particular las instrucciones de funcionamiento. Esta técnica pone al descubierto ambigüedades o vaguedades en las instrucciones y contribuye a que se elaboren instrucciones con un nivel correcto de detalle.

**Figura 4. Planta de fabricación por lotes simplificada**



**Cuadro 4. Desviaciones de «suprimir algo de aire del recipiente de medición»**

| Desviaciones | Causas | Consecuencias |
|---|---|---|
| NO SE EXTRAE AIRE | No se suministra aire<br>Eyector deficiente<br>Válvula cerrada | Se obstaculiza el proceso, pero no hay riesgo |
| SE EXTRAE MAS AIRE | Evacuación completa del recipiente de medición | ¿Puede un recipiente soportar el vacío total? |
| SE EXTRAE MENOS AIRE | Aspiración insuficiente para transferir el contenido del tambor | Se obstaculiza el proceso, pero no hay riesgo |
| Y TAMBIEN SE EXTRAE AIRE | Se atraen gotitas del material C o de otros materiales de los tambores o de los recipientes 1 o 4 a lo largo del conducto de evacuación | ¿Riesgo de incendio?<br>¿Riesgo de incendio por cargas electrostáticas?<br>¿Riesgo de corrosión?<br>¿Riesgo de bloqueo del apagallamas?<br>¿Constituirá el material un riesgo después de salir del apagallamas?<br>¿Dónde va? |
| SE EXTRAE PARTE DEL AIRE | La extracción de oxígeno o de nitrógeno sólo no es posible | |
| EXTRACCION INVERTIDA DE AIRE | Si el conducto del eyector de aire está bloqueado, entrará aire comprimido en el recipiente de medición | ¿Recipiente sometido a sobrepresión?<br>¿Se inyecta aire en los tambores y se dispersa su contenido?<br>¿Se mete aire en los recipientes 1 o 4? |
| DISTINTA DE LA EXTRACCION DE AIRE | Conexión del eyector de aire cuando el recipiente de medición esta lleno | Se dispersa el contenido a lo largo del conducto y sale a través del apagallamas. Riesgos análogos a los de Y TAMBIEN |

**Cuadro 5. Desviaciones de «cargar 100 litros del material C al recipiente de medición»**

| Desviaciones | Causas | Consecuencias |
|---|---|---|
| NO SE CARGA C | No se dispone de material C<br>Válvula cerrada | No hay riesgo |
| SE CARGA MAS C | Se carga una cantidad de C mayor de 100 litros | Si el recipiente desborda mientras el eyector está funcionando, C es arrastrado al eyector de aire con los peligros ya mencionados en el cuadro 4<br>Si el exceso se introdujera en el recipiente de medición, ¿cómo podría extraerse con seguridad? |
| SE CARGA MENOS C | Se carga una cantidad de C inferior a 100 litros | En esta etapa no hay riesgos |
| SE CARGA TAMBIEN C | Se obtiene una mezcla de C y algo más en el recipiente. Enumérense las mezclas que son posibles | Posibles mezclas peligrosas presentes |
| SE CARGA PARTE DE C | No tiene sentido. C no es una mezcla de materiales | |
| CARGA INVERTIDA DE C | Corriente del recipiente de medición al tambor | Derrame de material. Posible riesgo de pulverización |
| SE CARGA UN MATERIAL DISTINTO DE C | Mezcla con los tambores. Enumérense los demás materiales | Posibles reacciones en el recipiente de medición o corrosión del recipiente de medición |

**Cuadro 6. Desviaciones de «transferir 100 litros del material C del recipiente de medición con fines generales al recipiente 1 a un ritmo controlado»**

| Desviaciones | Causas | Consecuencias |
|---|---|---|
| NO SE TRANSFIERE C | Conducto bloqueado. Válvulas cerradas. Presión excesiva en el recipiente 1 | Se obstaculiza el proceso, pero no hay riesgos |
| SE TRANSFIERE MAS DE C | Se transfiere más de 100 litros<br><br>Se transfiere a un ritmo superior eludiendo la placa perforada o instalando una placa perforada excesivamente grande | Exceso de C en el recipiente 1<br>Enumérense las consecuencias químicas<br>Indíquese si el recipiente rebosará<br>Indíquese a dónde se derramará el exceso<br>Examínense las consecuencias de una velocidad de reacción excesiva. ¿Riesgo estático? |
| SE TRANSFIERE MENOS DE C | Se transfiere menos de 100 litros<br><br>Se deja algo de C en los conductos de transferencia<br>Se deja algo de C en el recipiente de medición con fines generales | Cuantía insuficiente de C en el recipiente de reacción. Consecuencias químicas<br>Señálese si existe peligro de presión de cierre<br><br>Indíquese el material siguiente que se va a incorporar a C y las consecuencias de la mezcla con C |
| SE TRANSFIERE TAMBIEN C | C contaminado. Enumérense los posibles contaminantes. Mezcla de aire y C | Determínense los efectos de los contaminantes. Examínense los efectos del aire en el recipiente 1 |
| SE TRANSFIERE PARTE DE C | No tiene sentido | |
| TRANSFERENCIA INVERTIDA DE C | Es posible que se produzca una corriente de material del recipiente 1 al recipiente de medición, si el recipiente 1 está lleno y sometido a presión | Indíquense las consecuencias |
| SE TRANSFIERE MATERIAL DISTINTO DE C<br><br>(¿A QUE OTRO SITIO?) | Transferencia de material erróneo<br>Enumérense qué otros materiales pueden estar presentes<br><br>Transferencia de C al recipiente 4 | Determínense las consecuencias<br><br>Indíquese a partir del «diagrama de barras» qué hay en el recipiente 4 en esta etapa y determínense las consecuencias de que se incorpore C |

## Apéndice 3

### Aplicación a un elemento patentado del equipo

Se han realizado estudios sobre operaciones unitarias como la mezcla, la separación, la reacción, el secado, la destilación, la morturación, la formación de tabletas, la esterilización, el envasado, la polimerización, la pirólisis y la fusión. A menudo esas operaciones se realizan en elementos patentados del equipo, tales como máquinas centrífugas y deshidratadores de aspersión que puede ser necesario estudiar a fondo tanto en lo que respecta a los principios de su funcionamiento como a su interacción con los materiales, las instalaciones y otro equipo. La técnica se puede también aplicar a instalaciones de mantenimiento como las calderas, los incineradores y los recipientes de almacenamiento.

A título de ejemplo, examinemos el autoclave de esterilización patentado que muestra la figura 5.

La esterilización de materiales cargados de residuos se consigue tratándolos con un vapor de gas humidificado esterilizador en una cámara de autoclave revestida en condiciones especificadas. La cámara tiene dos entradas, desde el área de trabajo estéril y desde el área de trabajo no esterilizada de la instalación.

El vapor entra en la cámara a través del sistema de reducción y el gas de esterilización a través del vaporizador. La cámara puede evacuarse por conducto de un enfriador, sea directamente hacia el drenaje, sea a través de una marmita decantadora sellada y lutenada a un pabellón ventilador. El aire atmosférico filtrado puede entrar a través de una válvula de retención. A la cámara se ajusta una válvula de seguridad que evacua hacia el pabellón ventilador y que puede ser evitada abriendo una válvula de ventilación, si es necesario descargar el contenido para apilarlo. El agua circula a través del revestimiento y se calienta indirectamente por medio de vapor.

Una vez que el autoclave está cargado y las puertas cerradas, entra en marcha el control de secuencia automático y programa el proceso tal como se indica en la figura 6. La propia máquina verifica los progresos del ciclo del proceso, vigilando la situación de la cámara y sus dispositivos auxiliares. Algunas verificaciones (véase la figura 6: Autoverificaciones) controlan los progresos en asociación con los fonómetros.

Al modelar este tipo de equipo, se debe tener en cuenta que el operario y la máquina controlan el proceso global entre ellos y que el operario participa físicamente en el desplazamiento de los materiales del proceso. Esta última actividad se representa en el diagrama del proceso (figura 7) utilizando los símbolos empleados en los diagramas del estudio de métodos. En la figura 8 se da una lista completa de esos símbolos.

Para este tipo de estudio sería adecuado un plan etapa por etapa para el examen, tal como se indica en el cuadro 7. El equivalente a las etapas 1, 3 y 5 ya se ha examinado anteriormente en la guía. El objetivo de este apéndice es demostrar el método para actuar en las etapas 2 y 4.

### Etapa 2: Autociclo de operaciones

Siguiendo el principio general de que, cuando el estado de una planta puede variar con el tiempo, el modelo debe describir esto estableciendo un vínculo entre el equipo y la finalidad del diseño. En este caso un gráfico de puntos cumple este requisito. El grupo encargado del examen debe tener un conocimiento detallado del equipo y la interrelación de los componentes se describe por medio de la disposición dibujada en la figura 5.

Las palabras-guía se aplican a las instrucciones incorporadas en la máquina para llevar a cabo cada etapa del proceso y debe seguirse cada desviación hasta que el controlador impida que se hagan otros progresos. Esto puede entrañar la necesidad de que se siga una desviación a través de varias (o de todas) las etapas posteriores del proceso, por la disposición dibujada con respecto a todas las consecuencias que puedan ser peligrosas.

Esto se demuestra en el cuadro 8 que indica las desviaciones derivadas de la instrucción programada HUMIDIFICAR LA CAMARA DEL AUTOCLAVE.

**Figura 5. Disposición del autoclave**

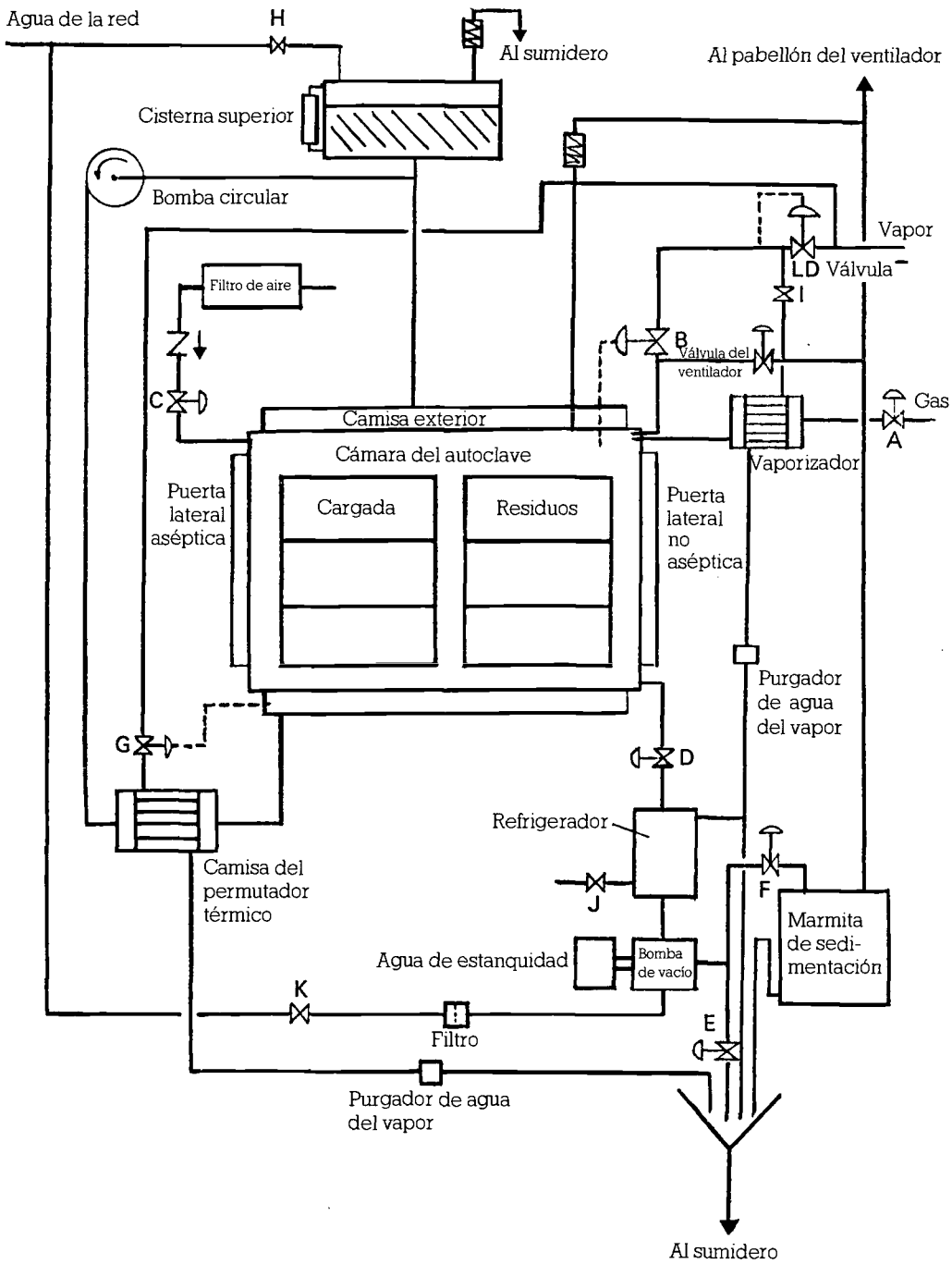
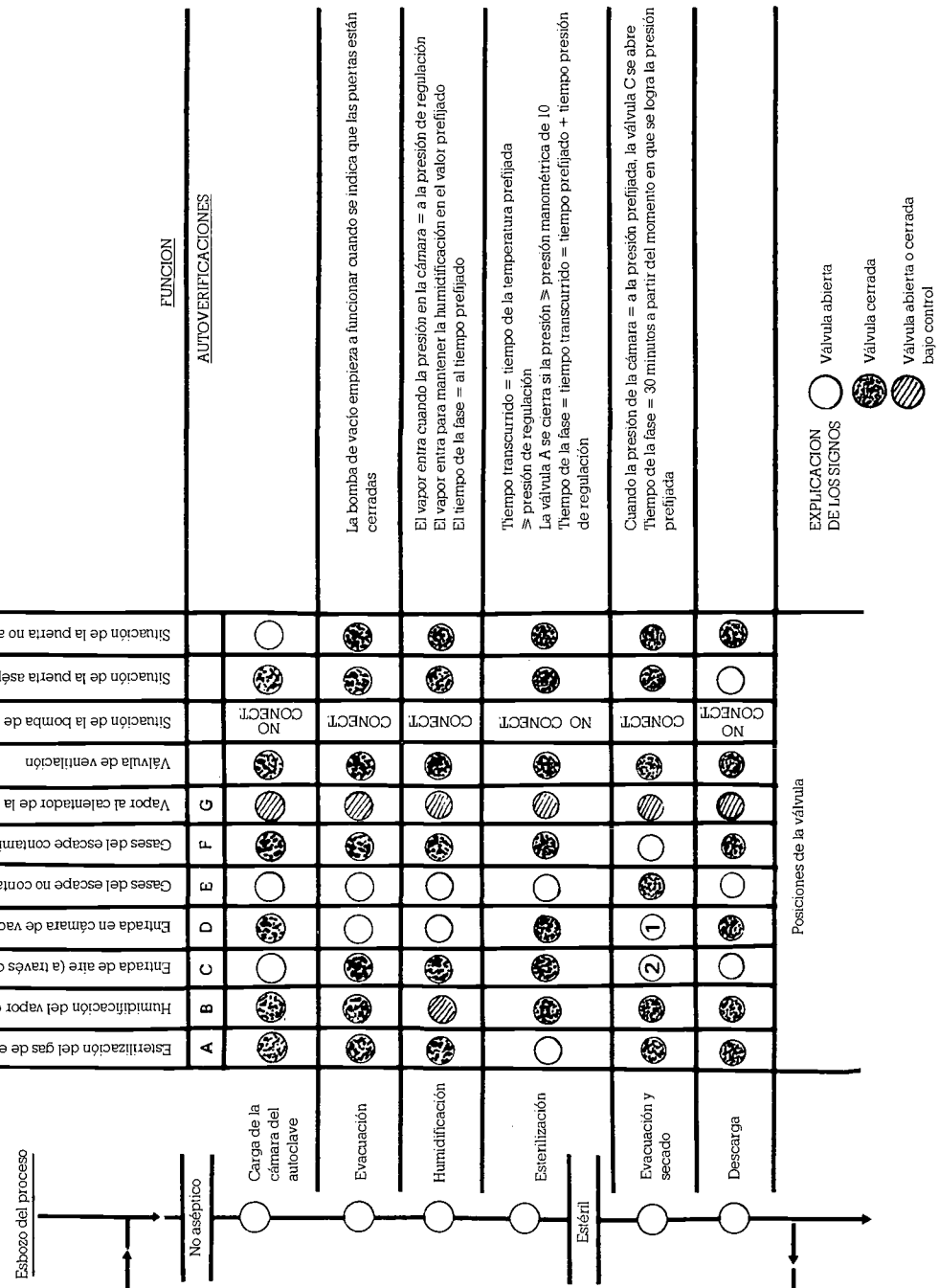


**Figura 6. Diagrama de secuencia (diagrama de puntos) del autoclave**



**Cuadro 7. Plan para las reuniones de examen del autoclave**

| Etapa | Descripción | Alcance y características |
|---|---|---|
| 1 | Método de la lista de verificación | Interactivo. Se examina la máquina en su *contexto*. Se parte de la situación del «peor desastre» |
| 2 | Ciclo de las operaciones del autoclave<br>Método del diagrama de puntos<br>(figura 6) | Se usa el diagrama de secuencias conjuntamente con el diagrama de líneas. Abarca los aspectos del control de la máquina y la parte del proceso autocontrolada |
| 3 | Método conducto por conducto | Proceso completo y líneas de servicio auxiliares y sistemas de funcionamiento manual, para definir los límites de la pila, como se indica en la figura 5 |
| 4 | Manipulación del material<br>Método del diagrama de flujos<br>(figura 7) | Abarca las instrucciones de funcionamiento para cargar y descargar los residuos con una carretilla de horquilla elevadora |
| 5 | Método de las instrucciones de funcionamiento | Completa las instrucciones de funcionamiento con inclusión de la puesta en marcha y parada de las máquinas y la preparación para el mantenimiento |

### Etapa 4: Carga del autoclave

Se elabora un diagrama de circulación (véase la figura 7) con respecto a la carga del autoclave por medio de una carretilla de horquilla elevadora manejada de forma manual.

Se pueden utilizar diagramas de este tipo para cualquier proceso que utilice los símbolos normalizados indicados en la figura 8, y se puede obtener asistencia para aplicar esta técnica de diversas fuentes (véanse las referencias 8 a 10).

Las palabras-guía se aplican a cada elemento del diagrama tal como se ilustra en el cuadro 9 que examina posibles desviaciones del elemento ENTRADA DE RESIDUOS, DESPLIEGUE DE LA HORQUILLA.

La escala de esos diagramas puede variar en la forma que proceda.

**Figura 7. Diagrama de circulación: carga del autoclave**

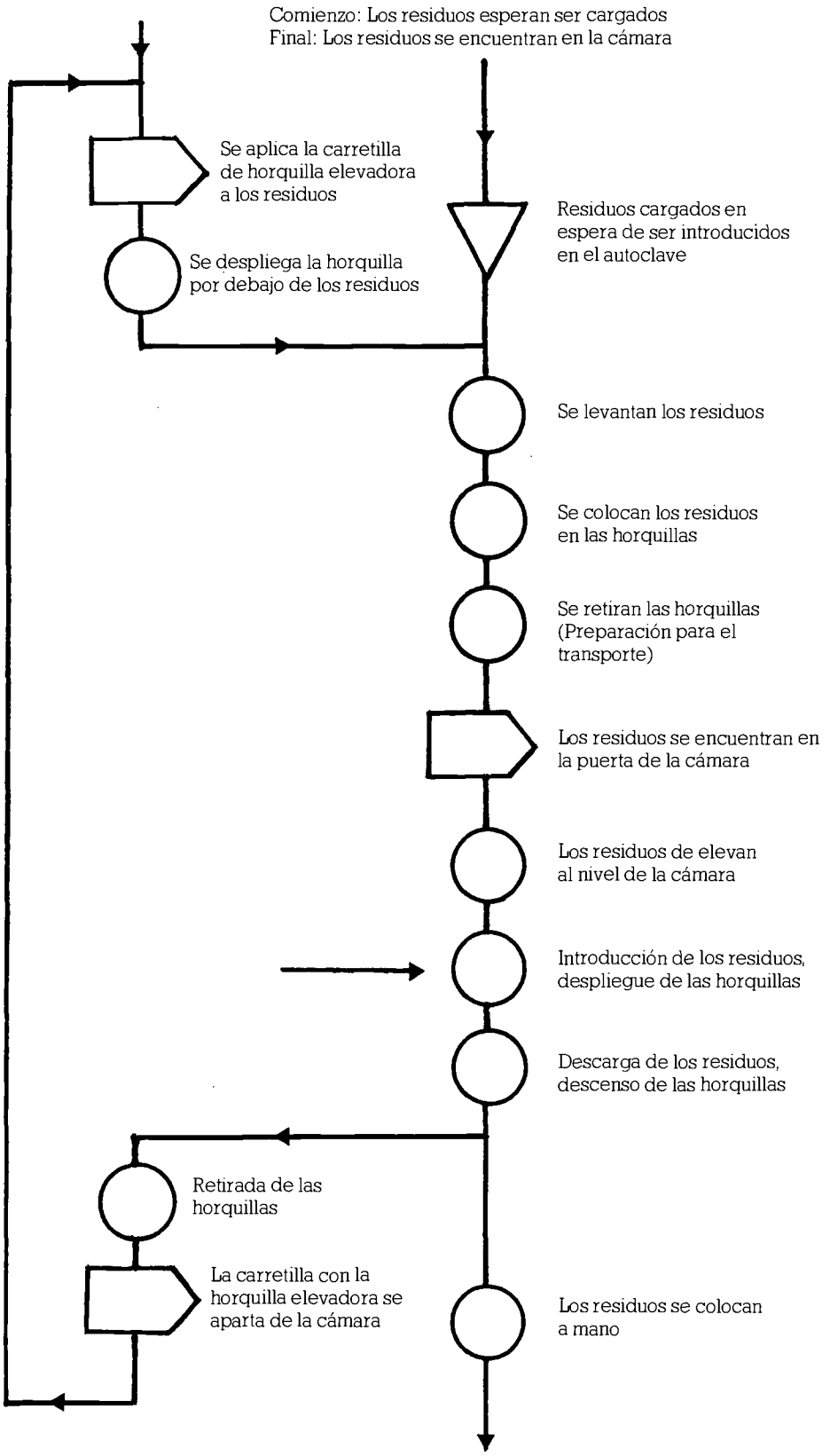
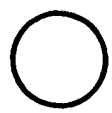


**Figura 8. Explicación de los símbolos del diagrama de programación (tomada del estudio de métodos)**

| SIMBOLO | ACTIVIDAD | RESULTADO PREDOMINANTE |
|---|---|---|
| (a)  | OPERACION | Produce, realiza, modifica y lleva adelante el proceso |
| (b) | INSPECCION | Verifica la cantidad o la calidad |
| (c) | TRANSPORTE | Mueve o traslada |
| (d) | RETRASO | Interferencias o retrasos |
| (e) | ALMACENAMIENTO | Posee, retiene o almacena |

Los ejemplos citados son los aprobados por la *American Society of Mechanical Engineers* (ASME)

**Cuadro 8. Desviaciones de «humidifíquese la cámara del autoclave»**

| Desviaciones | Causas | Consecuencias |
|---|---|---|
| NO SE HUMIDIFICA | La válvula B no abre<br>La válvula de la línea de partida está cerrada<br>El conducto de vapor está taponado<br>La válvula de ventilación está abierta<br>Todo el vapor pasa al vaporizador | Riesgo para el producto: el gas de esterilización no seca con eficacia |
| | Conducto fracturado | |
| MAS HUMIDIFICACION | Demasiado vapor<br>La válvula de la línea de partida no abre | ¿Puede la cámara estar sometida a una presión excesiva?<br>¿Permite el tamaño de la válvula de seguridad la entrada a la máxima velocidad del vapor en la cámara? |
| | Demasiada presión de vapor/temperatura | ¿Es el producto sensible a la temperatura/presión?<br>¿Qué efectos produce la temperatura o la presión elevada sobre los componentes herméticos de los autoclaves, por ejemplo, los cierres herméticos de las puertas? |
| MENOS HUMIDIFICACION | Vapor excesivamente reducido, presión/temperatura excesivamente baja | ¿La condensación sobre el producto es nociva? |
| ASI COMO HUMIDIFICACION | Contaminantes en el vapor, por ejemplo, $CO_2$, condensación, aire, moho, etc. | ¿Efecto sobre el producto? |
| | Gas de esterilización (tránsito por la válvula A) | Desperdicio de gas por evacuación |
| | | Penetración del gas en la atmósfera de la planta: ¿se requiere una segunda válvula independiente? |
| | Aire (tránsito por la válvula C) | Se reduce la eficacia de la humidificación |
| | Contaminantes desde el pabellón del ventilador (tránsito por la válvula del ventilador) | Podría inducir gases de otros autoclaves |
| | Atmósfera de la planta (escape de los cierres herméticos de las puertas) | No hay riesgo en esta etapa, pero podría haber un escape en la etapa de esterilización |
| | Fallo de la bomba de vacío | Los contaminantes del sumidero penetran en el autoclave |
| PARTE DE HUMIDIFICACION | Entra el vapor, pero se producen pérdidas de la bomba de vacío (o la válvula D está cerrada) | La cámara estará parcialmente sometida a presión. Carga muy húmeda, temperatura demasiado alta. La cámara se llena en parte de agua. El ciclo continuará y el gas de esterilización podrá no entrar debido a la contrapresión |
| | Vacío, pero sin vapor dentro | El ciclo continuará; si no se detecta falta de humedad y se adoptan medidas, la carga no será estéril |
| HUMIDIFICACION INVERTIDA | La cámara de vacío se está secando | No entra vapor, como anteriormente |
| DISTINTA DE LA HUMIDIFICACION | Esterilización por omisión de la etapa de humidificación | El ciclo continuará, y la carga no será estéril (como más arriba) |

**Cuadro 9. Desviaciones de «desplegar las horquillas para cargar la plataforma portátil en la cámara»**

| Desviaciones | Causas | Consecuencias |
|---|---|---|
| NO | Fallo del mecanismo de la carretilla con horquilla elevadora | Se para la producción<br>¿Cómo se recupera la carga? |
| MAS | Alargamiento excesivo | La carga choca con la puerta del lado opuesto<br>La puerta del lado opuesto se fuerza o se daña<br>Pérdida de la integridad de la zona estéril<br>La puerta puede dejar de cerrar herméticamente, lo que más tarde produce el escape del gas de esterilización |
| MENOS | Insuficientemente desplegada | La carga está insegura y se cae hacia atrás |
| Y TAMBIEN | Se levantan las horquillas | La carga se encuentra atrapada entre las horquillas y el techo de la cámara; carga dañada<br>¿Se levanta la cámara de los cimientos?<br>El detector de humedad se rompe, lo que provoca más tarde el escape de gas de esterilización |
| | Trabajan las horquillas | Las horquillas tropiezan con la cara de descargue de la puerta y dañan el cierre, lo que provoca escapes |
| | Se mueve la carretilla | Carga insegura con las horquillas extendidas |
| PARTE DE | Operación demasiado rápida | Parte de la carga arrojada desde la plataforma portátil<br>¿Qué medidas se adoptan con las plataformas portátiles?<br>Material dañado: ¿Qué medidas se adoptan más tarde del lado estéril? |
| INVERSION | La plataforma portátil ne está separada de las horquillas | ¿Carga descargada de las plataformas portátiles? ¿Derrame?<br>Carga dañada |
| DISTINTA DE | Fallas de procedimiento | Carga errónea en el autoclave correcto<br>Carga correcta en el autoclave erróneo<br>Carga errónea en el autoclave erróneo |

# Apéndice 4

## Cómo iniciar un estudio de los riesgos de accidente en relación con el funcionamiento

Los estudios de los riesgos de accidente relacionados con el funcionamiento pueden iniciarse en una organización porque existe el deseo de mejorar la seguridad, aun cuando el rendimiento actual sea bueno, o porque algunos miembros de la organización han leído u oído hablar de la técnica y de sus beneficios y quieren ponerla a prueba.

La forma de comenzar un estudio dependerá, por supuesto, de la organización, pero normalmente pone en práctica alguno de los cuatro criterios siguientes:

El criterio de «hágalo usted mismo»
El criterio «evolutivo»
El criterio «educativo»
Un programa «intensivo».

### El criterio *hágalo usted mismo*

La ayuda de un experto no es esencial, pero sí conveniente ya que reducirá los gastos al acelerar el proceso de adquisición de competencia. Los primeros que recurrieron a estos estudios no contaban con asesoramiento especializado y por lo menos cinco organizaciones iniciaron sus estudios sobre los riesgos en relación con el funcionamiento a partir de una base mucho menos firme que la que posee ahora el lector. La primera etapa consiste en convenir en que se debe llevar a cabo un período de prueba y en nombrar a una persona para que actúe como jefe del estudio durante ese período. La persona elegida debe de preferencia tener unos conocimientos técnicos de base y experiencia en el campo de la producción, así como algunos conocimientos teóricos del estudio de métodos en general y del examen crítico en particular.

Esa persona debe familiarizarse a fondo con este manual. Se sugiere que luego realice un pequeño ejercicio por su propia cuenta para aplicar la técnica a algo muy sencillo, como un recipiente de almacenamiento de disolventes abastecido por un buque cisterna.

Munida de su experiencia, esa persona debe, en sus conversaciones con la dirección, elegir el primer objeto real para someterlo a un ensayo. Ese objeto puede ser un proyecto en torno a una «paralización del diseño» o a una unidad existente. A continuación elegirá al equipo de la manera habitual.

En esa etapa estará en condiciones de organizar un curso de capacitación sobre valoración para los miembros del equipo junto con otras personas que puedan participar en estudios posteriores. La capacitación se podría impartir sobre la base siguiente:

i) Una introducción general que incluya los objetivos del curso.
ii) Los principios del examen para cuya exposición el profesor se basará en 2.1, y luego pasará al párrafo 2.2 seguido del 2.3.
iii) A continuación puede explicar la secuencia detallada, como en la figura 2.
iv) Podría utilizar su experiencia personal con el ejemplo del tanque de almacenamiento (u otro ejemplo sencillo) para proporcionar un ejercicio que los miembros del curso podrían realizar en (digamos) grupos de cuatro personas, con ayuda del cuadro 1.

El jefe del estudio tendrá luego un equipo suficientemente capacitado para iniciar un estudio sobre el tema elegido. Es probable que los progresos sean lentos en las primeras reuniones de examen, hasta que el jefe y el equipo comiencen a sentirse familiarizados con la técnica.

### El criterio *evolutivo*

La primera etapa consiste en lograr un acuerdo preliminar de los colegas, con inclusión del asesor en seguridad. El paso siguiente consiste en organizar una reunión preliminar entre los colegas y un jefe de estudio, que haya sido nombrado para que efectúe un estudio introductorio. Los objetivos de esta reunión serán los siguientes:

i) determinar si la técnica se puede aplicar y convencer a los participantes de que vale la pena probarla;
ii) elegir el proyecto que se debe estudiar a título de prueba;
iii) determinar los objetivos del estudio;
iv) obtener un cálculo del tiempo previsto para el estudio;
v) elegir un equipo para el estudio;
vi) velar por que se disponga de recursos suficientes para proporcionar el apoyo técnico necesario al equipo y ocuparse de que sus decisiones se puedan aplicar.

Existen varios criterios para la selección de los proyectos, pero básicamente deben caracterizarse por

no requerir demasiado tiempo, ser eficaces y tener una repercusión bastante inmediata. Al seleccionar un equipo para el primer estudio, se debe pensar en las repercusiones en largo plazo de los estudios sobre los riesgos de accidente en relación con el funcionamiento. Por ejemplo, ¿es preciso nombrar a un jefe del estudio propio?

La etapa siguiente consiste en examinar la propuesta con los miembros del equipo y, junto con el jefe del estudio, proyectar las etapas del procedimiento. Se revisan los datos disponibles y se adoptan medidas para llenar cualquier laguna.

El resto del estudio sigue el procedimiento básico mencionado más arriba. Si el proyecto elegido es pequeño y absorbe dos o tres días del equipo, el jefe del estudio podrá seguir a cargo todo el tiempo, que es la situación ideal. Si el estudio es largo, quizá valga la pena capacitar a un jefe del estudio de la organización de que se trate para que se haga cargo de él.

Después de la primera demostración (que es de esperar tenga éxito), la técnica se extiende gradualmente para abarcar las partes pertinentes de la organización y transformarse en uno de sus procedimientos normales.

### El criterio *educativo*

Normalmente lo inicia el personal de dirección superior y, como este criterio exige un fuerte compromiso, sobre todo en forma de recursos de gestión y capacitación, tendrá su origen en una decisión política de usar la técnica. La adopción de este criterio es conveniente para llevar a cabo las etapas siguientes:

i) obtener la capacitación y experiencia necesarias para disponer de un jefe de estudio, o si fuera necesario, más de uno;
ii) establecer y presentar cursos de reconocimiento para personal de dirección superior e intermedio con el fin de que pueda prestar su apoyo administrativo a los equipos;
iii) establecer y presentar cursos de capacitación adecuados con respecto al reconocimiento y a la constitución de equipos para quienes llevarán a cabo realmente los estudios.

En el apéndice 5 se dan más detalles sobre los cursos de capacitación.

### El programa *intensivo*

La aplicación de este criterio suele estar motivada por la comprensión, por parte del consejo de administración, acerca de la necesidad de una rápida acción.

El método es sencillo. Se constituyen equipos y se nombran jefes de estudio para que capaciten y dirijan los equipos y formen a otros jefes de estudio procedentes de la organización.

Los requisitos de un programa de ese tipo son los siguientes:

i) reconocimiento de la necesidad por todos los niveles de dirección;
ii) disponibilidad de la técnica en una forma apropiada para atacar el problema;
iii) disponibilidad de jefes de estudio experimentados en un breve plazo;
iv) disponibilidad de recursos para velar por que se apliquen las medidas de seguimiento.

## Apéndice 5

### Capacitación

La capacitación relativa a los estudios sobre los riesgos de accidente relacionados con el funcionamiento se dividen en cuatro categorías principales:

Curso de perfeccionamiento para personal de dirección superior
Curso para miembros de equipo
Capacitación de los jefes de estudio
Capacitación del personal de secretaría

Los estudios sobre los riesgos de accidente relacionados con el funcionamiento se pueden asimismo incluir en un curso de capacitación general en materia de gestión.

### Capacitación del personal de dirección superior

Los cursos se deben presentar de manera que los dirigentes de categoría superior puedan comprender la técnica, captar cuándo puede utilizarse con ventaja y los beneficios que cabe obtener de ella en lo que respecta a la reducción de los riesgos de accidente, el mejoramiento de los métodos y el mejoramiento de la competencia general de la operación.

Esta capacitación debe también incluir el aspecto de las relaciones humanas de los estudios. Es conveniente aplicar una política de «no recriminación» si se detectan errores. Del lado positivo, se proporciona una posibilidad de efectuar estudios para el perfeccionamiento profesional del personal.

Esa formación debe llevar aproximadamente medio día.

### Capacitación de los miembros de equipo

Esta capacitación presta mayor atención a la realización efectiva de estudios y en particular a la etapa de *examen*. Debe resultar posible completar este curso en un período de medio día a dos días, según el método de instrucción y la magnitud de la práctica de los miembros del equipo.

También puede impartirse una formación oficiosa a un equipo que comenzará a realizar un estudio, si alguno de los miembros no conoce la técnica. Esta capacitación la imparte el jefe del estudio inmediatamente antes de iniciarlo y dura de una a tres horas.

### Capacitación de los jefes de estudio

Los jefes de estudio mejoran su pericia para planificar y controlar los estudios sobre los riesgos de accidente relacionados con el funcionamiento mediante la combinación de todo un conjunto de técnicas y pericia administrativa, la experiencia anterior como miembros de equipo y como secretarios de equipo, y a renglón seguido la realización de los propios estudios con la supervisión de un jefe experimentado.

De modo ideal, el jefe del estudio debería poseer los siguientes conocimientos de base y capacitación:

i) varios años de experiencia en la producción como director de montaje o ingeniero;
ii) experiencia en el campo del diseño;
iii) capacitación y experiencia en la solución de problemas con inclusión de la capacitación en estudio de métodos y técnicas de asesoramiento;
iv) amplias lecturas de obras y documentos sobre la técnica;
v) experiencia como miembro de un equipo;
vi) experiencia como secretario de un equipo;
vii) experiencia como jefe de estudio en fase de prácticas sometidas a supervisión.

### Capacitación de los secretarios

El secretario debe tener un conocimiento atinado de la técnica. Además, debe poder dar orientación sobre cómo registrar de manera sucinta, pero de una forma que identifique de inmediato la sección de la planta a que se hace referencia, la índole del riesgo y las circunstancias en que se puede producir.

## Apéndice 6

### Forma concreta de los estudios sobre los riesgos de accidentes relacionados con el funcionamiento

En los apéndices 4 y 5 se ha indicado cómo iniciar un estudio sobre los riesgos relacionados con el funcionamiento en una organización y las categorías de capacitación que debe proporcionar, pero estas etapas son sólo preliminares. Para sacar el máximo partido de esos estudios, el objetivo final debe ser lograr que el enfoque forme parte de la «forma de vida» de la organización.

Es difícil establecer normas para dar forma concreta a la técnica debido a que las organizaciones difieren considerablemente por su estructura; la manera de presentar estos estudios podría también influir en la situación. No obstante, las directrices que se indican a continuación se basan en la experiencia.

En algunos sectores de la industria química donde se han asentado más plenamente los estudios de los riesgos relacionados con el funcionamiento existen grupos de especialistas que dirigen la aplicación global de la técnica. Esos grupos están constituidos por jefes de estudio calificados y proporcionan capacitación, asesoramiento y asistencia para la aplicación de la técnica. Dirigen parte, pero no necesariamente la totalidad, del estudio. Además, elaboran la técnica para aplicaciones nuevas, más amplias o más especializadas. Este grupo puede pertenecer a un departamento de servicios de gestión, un departamento de seguridad o la sección de un departamento de ingeniería encargada del programa más importante.

Además del grupo de especialistas, debe haber jefes de estudio calificados que puedan prestar asistencia a tiempo parcial. Todas las personas involucradas en el estudio y encargadas del diseño y funcionamiento de la planta deben haber adquirido de forma oportuna alguna capacitación y experiencia como miembros del equipo. Aunque la técnica puede introducirse con carácter experimental o facultativo, tenderá a utilizarse en un número creciente de proyectos. Teóricamente, su crecimiento debe aumentar en la medida en que pase a ser una parte natural del proceso de diseño. La plasmación concreta en esta etapa se considerará como una prueba del compromiso en el nivel de la junta, por ejemplo, y debe garantizar que se pongan a disposición los recursos apropiados para realizar los estudios y aplicar las medidas que se adopten. La plasmación práctica suele adoptar la forma de unas instrucciones de la empresa que abarcan los siguientes aspectos:

i) el momento en la realización de un proyecto en el que se debe efectuar el estudio;
ii) los criterios que sirven de base para la decisión de estudiar las instalaciones existentes;
iii) la responsabilidad de la iniciación del estudio;
iv) los métodos de presentación de informes y de registro de la información producida durante el estudio.

**Apéndice 4**

# Método de calcular las consecuencias

## 1. Introducción

En el presente apéndice se dan ejemplos de los cálculos necesarios para evaluar las consecuencias de accidentes mayores. Se han realizado considerables investigaciones internacionales para mejorar los métodos utilizados en los análisis teóricos y en los ensayos en gran escala, y estas investigaciones continúan, con inclusión de un gran programa de la Comisión Europea.

De ahí que los ejemplos dados representen el estado de los conocimientos en 1987, aunque en algunas esferas, por ejemplo la evaluación de las explosiones de nubes de vapor, se están analizando actualmente.

GAS LICUADO DE PETROLEO (GLP)

### 1.1. Bola de fuego producida por la explosión de un líquido en ebullición con desprendimiento de vapores en expansión

*a)* Radio de la bola de fuego: $R = 29M^{1/3}$,
donde R = radio de la bola de fuego (m);
M = masa de combustible (triple expansión).

*b)* Duración de la bola de fuego: $t = 4{,}5M^{1/3}$,
donde t = duración (s);
M = masa de combustible (triple expansión).

M normalmente equivale a la mitad de la capacidad del tanque, es decir, para un tanque de GLP de 50te, M = 25te. Sin embargo, si el almacenamiento se efectúa en un grupo compacto de tres o más cisternas verticales, se recomienda que se dé a M el valor del 90 por ciento de la capacidad del tanque.

*c)* El flujo radiactivo incidente sobre un objetivo situado a cierta distancia de la cisterna de GLP se deduce de la fórmula:

$q_t = EFT$,

en la que $q_t$ = flujo radiactivo incidente sobre el objetivo ($kWm^{-2}$);
E = radiancia intrínseca de superficie ($kWm^{-2}$);
F = factor de visión;
T = transmisividad atmosférica.

A E se le da el valor de 270 $kWm^{-2}$ para las cisternas cilíndricas, horizontales y verticales y de 200 $kWm^{-2}$ para las esferas.

F se considera equivalente a $\dfrac{R^2r}{(R^2+r^2)^{3/2}}$,

donde r es la distancia en el suelo entre la meta y la cisterna de GLP. Para poder aplicar esta fórmula, r debe ser mayor que 2R.

T se determina por la relación

T = 1 – 0,058 pulgadas de radio.

Una vez que se ha determinado $q_t$, se puede calcular una dosis u onda térmica como $q_t \times t$

donde t = duración de la bola de fuego.

Por ejemplo, determínese el flujo de la radiación térmica incidente de una bola de fuego producida por la explosión de un líquido en ebullición con desprendimiento de vapores en expansión a una distancia de 300 m desde la cisterna de GLP de 100te:

$R = 29M^{1/3} = 29 \times 50^{1/3} = 107$ m;

$t = 4{,}5M^{1/3} = 4{,}5 \times 50^{1/3} = 16{,}6$ s;

$E = 270\ kWm^{-2}$;

T = 1 – 0,058 pulgadas de radio = 1 – 0,058 pulgadas $\frac{}{300} = 0{,}67$;

$$F = \frac{R^2r}{(R^2+r^2)^{3/2}} = \frac{107^2 \times 300}{(107^2+300^2)^{3/2}} = 0{,}016;$$

$q_t = EFT = 270 \times 0{,}106 \times 0{,}67 = 19{,}2\ kWm^{-2}$;

$\therefore$ dosis u onda térmica $= q_t \times t = 19{,}2 \times 16{,}6 = 317\ kJm^{-2}$.

### 1.2. Explosión de nube de vapor

Hipótesis:

*a)* la cisterna de GLP está llena cuando una deficiencia catastrófica causa un desprendimiento casi instantáneo;

*b)* la nube de vapor/aerosoles es una fracción doble de la fulguración adiabática a 15 °C, es decir, el 62 por ciento y el 34 por ciento del contenido de la cisterna para el propano y el butano, respectivamente;

*c)* 1te de GLP $\hat{=}$ 0,42te TNT.

Por ejemplo, determínese la sobrepresión a una distancia de 300 m de una cisterna de propano de 100te:

$$\text{Distancia a escala} = \frac{\text{distancia}}{(0{,}42M \times 62)^{1/3}},$$

donde M = masa de combustible en la nube (te)

$$= \frac{300}{(0{,}42 \times 62)^{1/3}} = 101\ \text{m te}^{1/3}.$$

Del gráfico de la distancia a escala en relación con la sobrepresión (figura 4.1),

*Sobrepresión = 2,23 psig.*

### 1.3. Coeficientes de liberación máxima del líquido para los GLP comerciales

Se pueden determinar a partir de la figura 4.2.

### 1.4. Coeficientes máximos de liberación del gas para los GLP comerciales

Se pueden determinar a partir de la figura 4.3.

### 1.5. Coeficientes de liberación máxima en dos fases para los GLP comerciales

Se pueden determinar a partir de la figura 4.4.

CLORO

Las consecuencias del desprendimiento de gases tóxicos, como el cloro, dependen del tiempo y variarán con la distancia y con las condiciones climáticas imperantes. Las concentraciones y las duraciones se pueden calcular utilizando modelos computadorizados que combinen una descripción física del comportamiento de la nube de gas con datos experimentales. Los modelos de computadora de tipo cerrado se utilizan frecuentemente para predecir el comportamiento de dispersión de los gases, como el cloro, que son más densos que el aire. Se puede utilizar un modelo conocido como DENZ para los desprendimientos instantáneos (por ejemplo, deficiencias de un recipiente de almacenamiento) que aporta la información que aparece en la figura 4.5.

Para desprendimientos constantes (por ejemplo, de una tubería que pierde), un modelo conocido como CRUNCH dará la información indicada en la figura 4.6.

Esta información se puede utilizar, conjuntamente con el cuadro 10 de la sección 6.1.4 del manual, para calcular los efectos de un desprendimiento de gases sobre los seres humanos.

**Figura 4.1. Sobrepresión de la curva de TNT en relación con la distancia a escala**

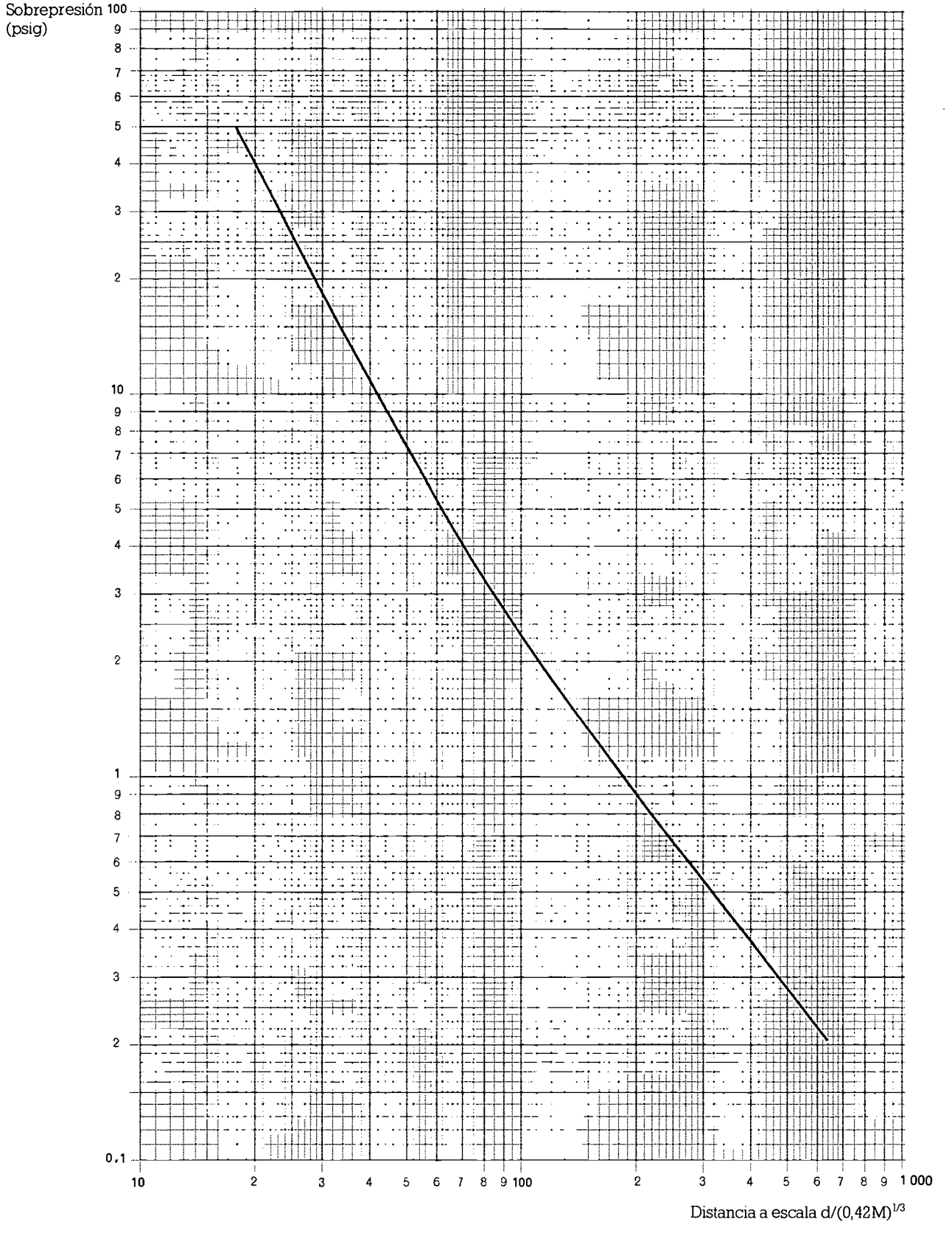


**Figura 4.2. Coeficientes máximos de desprendimiento del liquido para GLP comerciales**

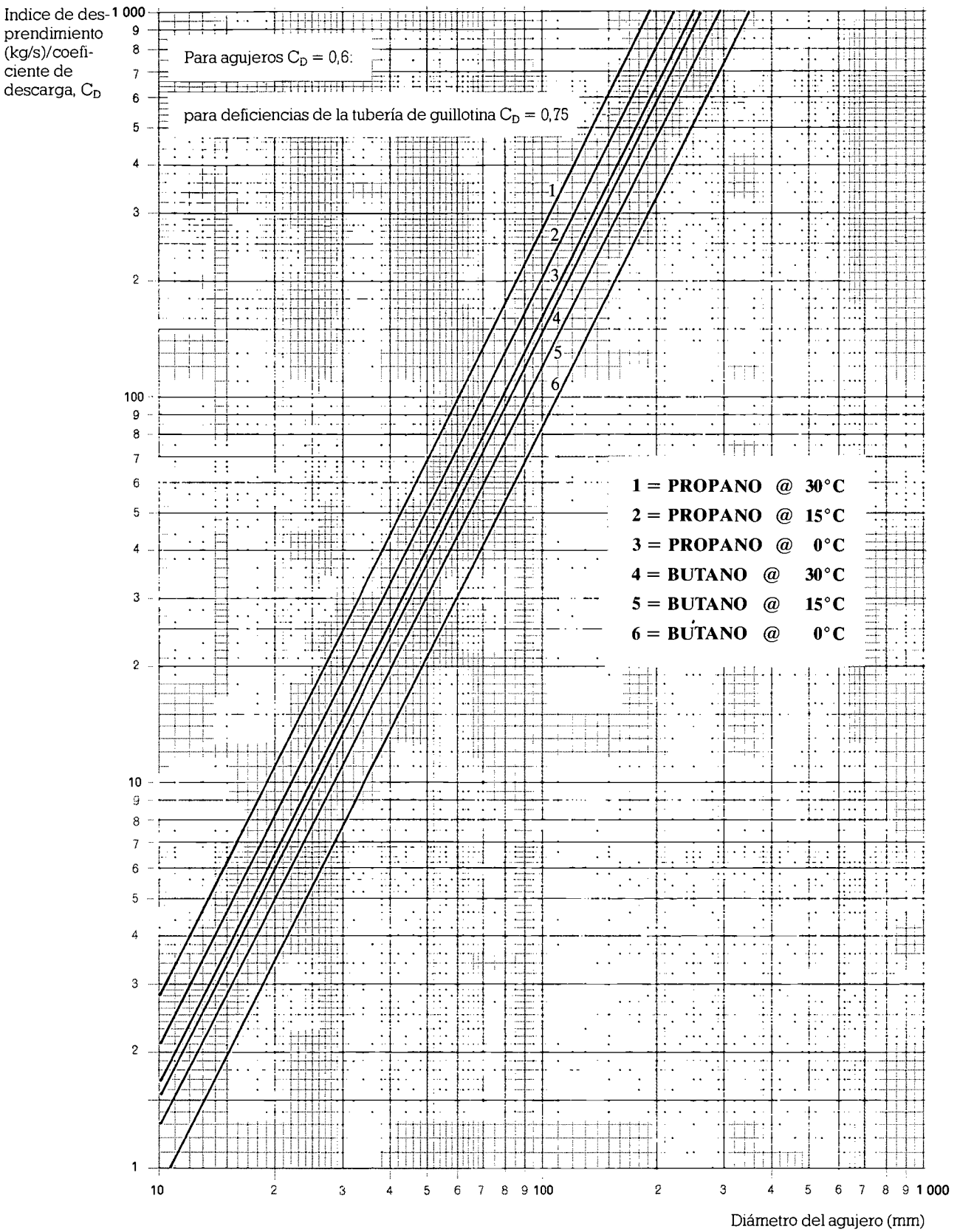


**Figura 4.3. Coeficientes máximos de desprendimiento del gas para GLP comerciales**

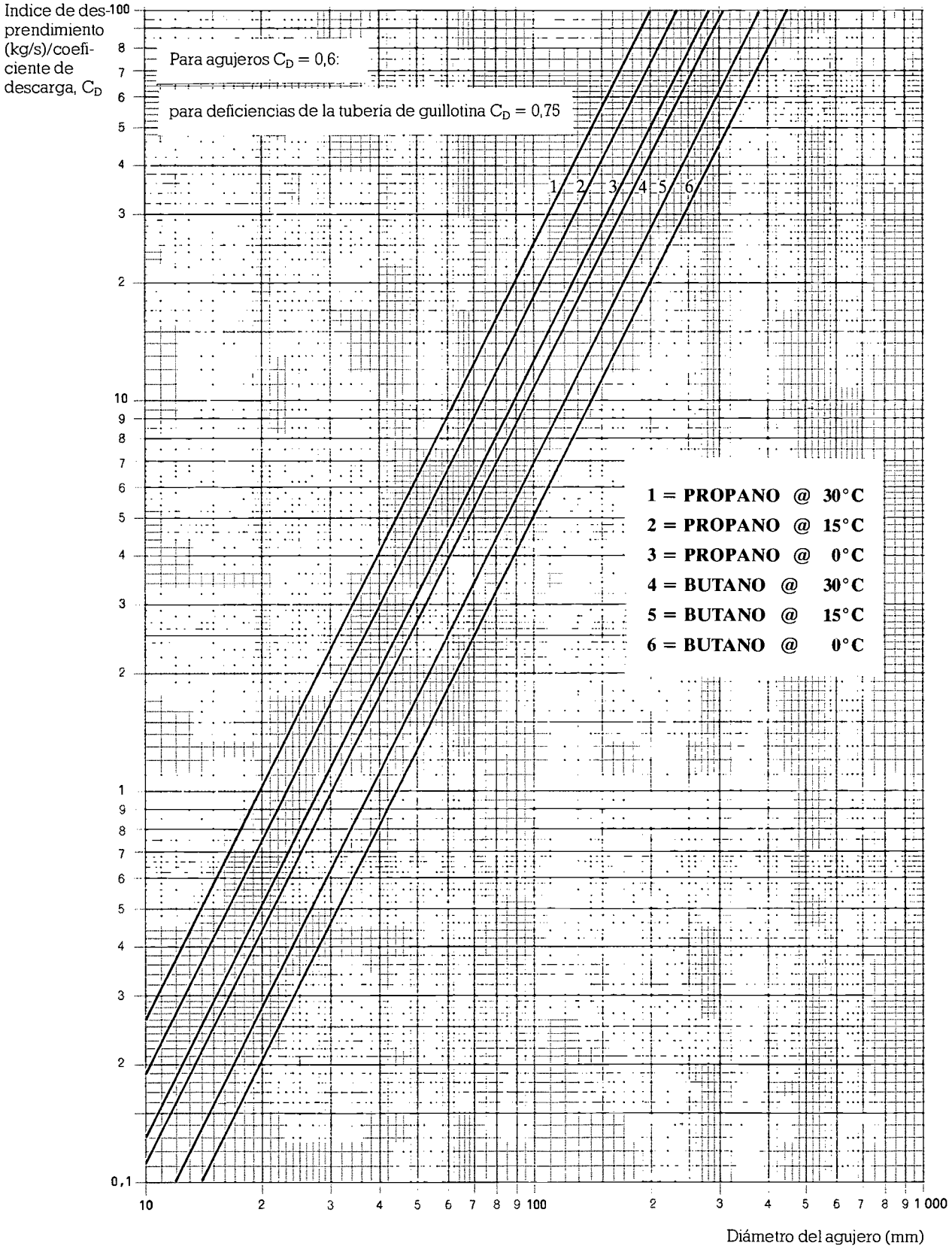


**Figura 4.4. Coeficientes máximos de desprendimiento en dos fases de GLP comerciales**

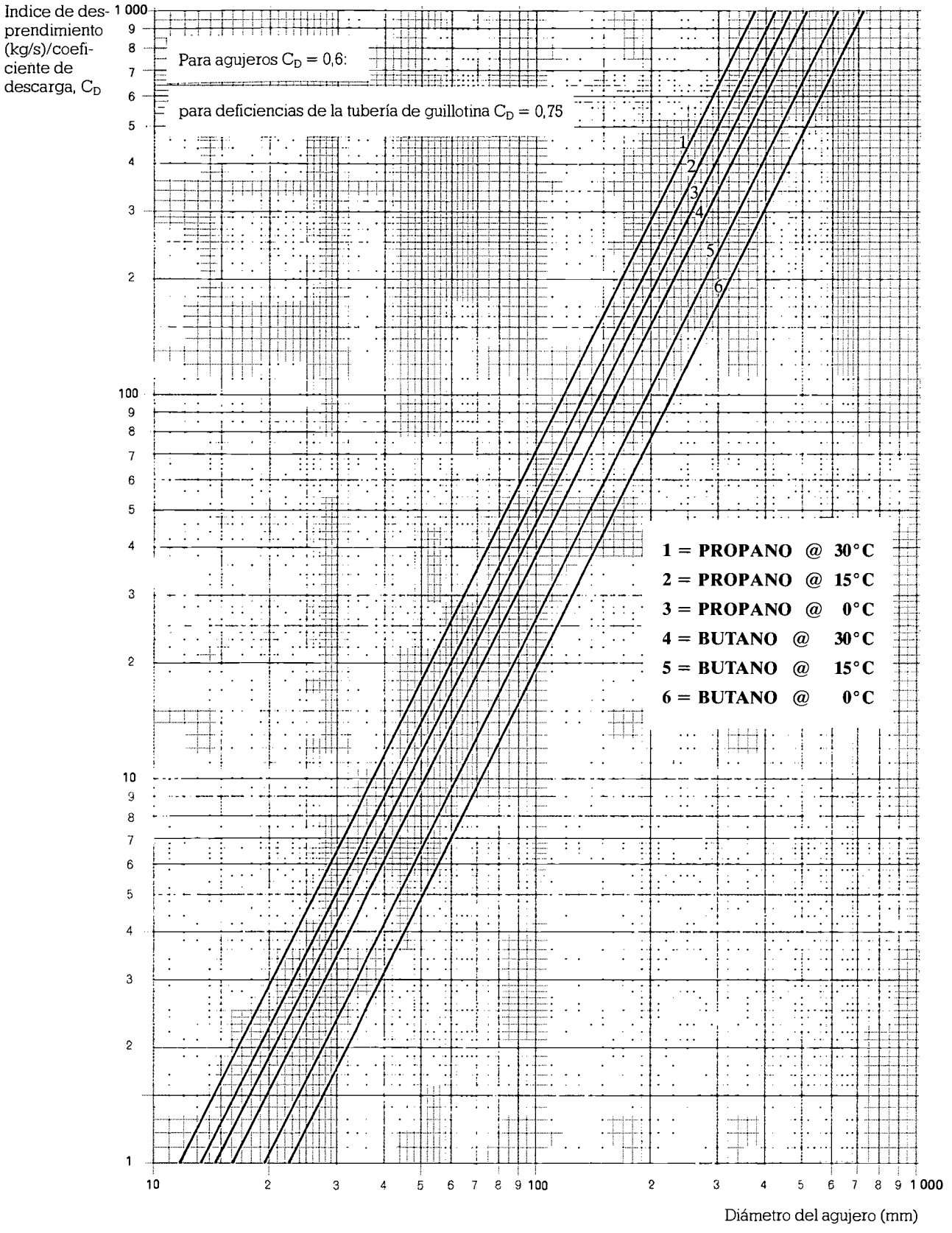


**Figura 4.5. Relación entre el volumen de cloro, las concentraciones máximas en el suelo y las distancias a favor del viento de la fuente del escape para desprendimientos instantáneos (clima D5)**

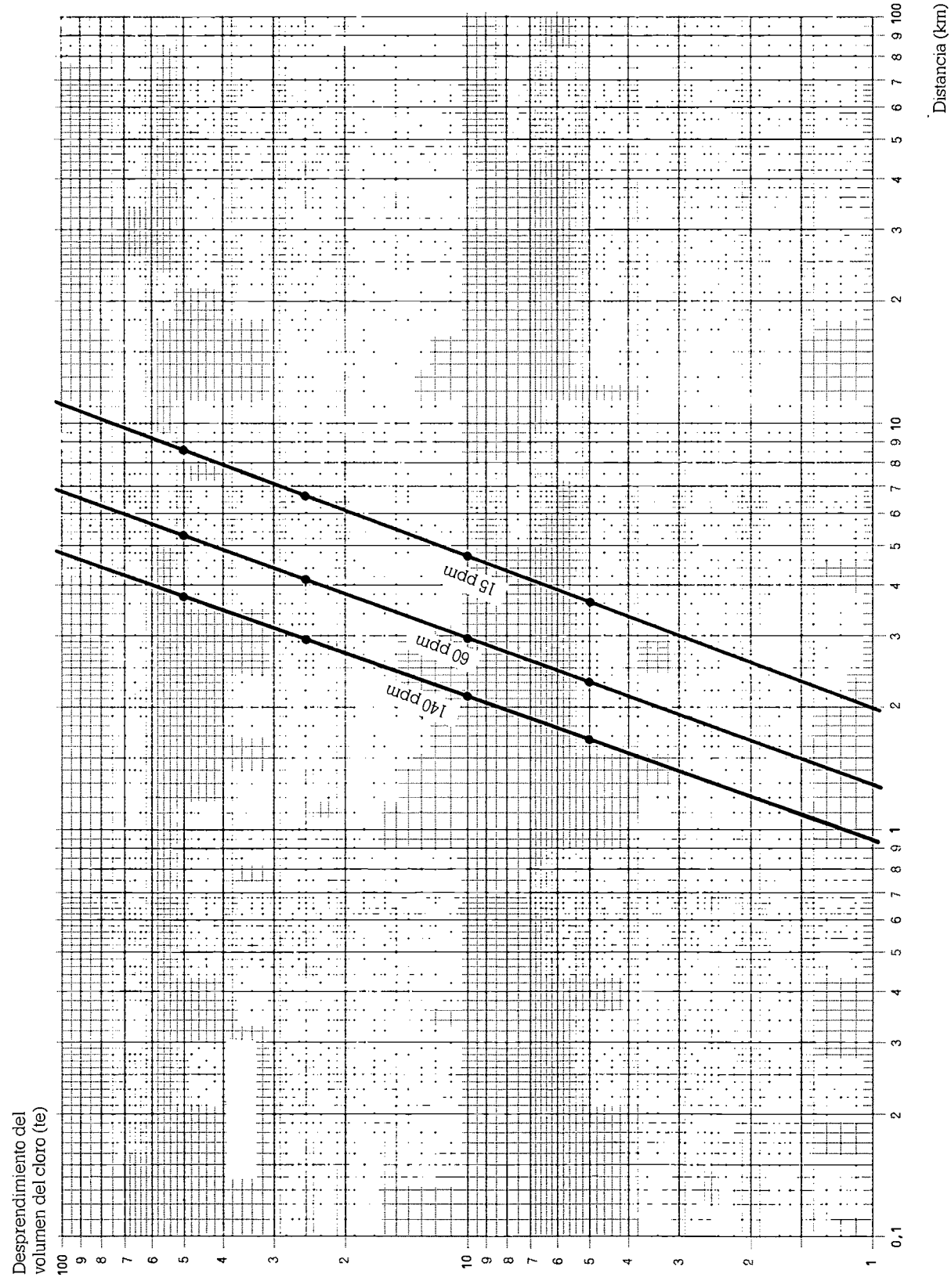
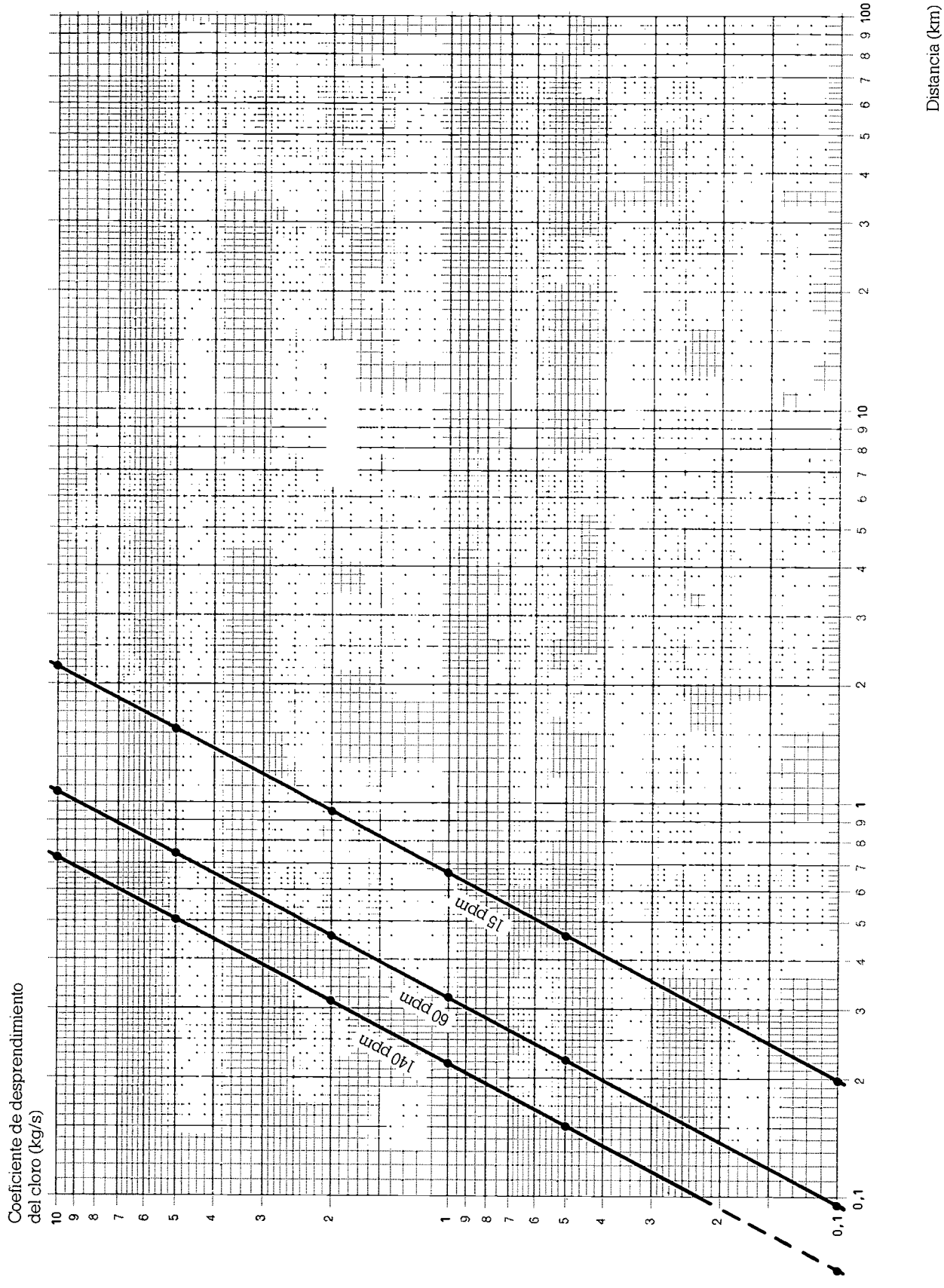


**Figura 4.6. Relación entre los coeficientes de desprendimiento del cloro, las concentraciones de equilibrio en el nivel del suelo y las distancias a favor del viento de la fuente de escape para los desprendimientos continuos (clima D5)**



**Apéndice 5a)**

# El almacenamiento de GLP en instalaciones fijas

(Reproducido de Health and Safety Executive: *The storage of LPG at fixed installations,* Health and Safety series booklet HS(G) 34 (Londres, HMSO, 1987).)

## Indice

**Glosario**
**Introducción**
**Alcance**
**Requisitos jurídicos**
**Propiedades y riesgos de accidente del GLP**
**Emplazamiento, separación y agrupación**
**Integridad mecánica**
**Accesorios**
**Tuberías**
**Vaporizadores**
**Seguridad**
**Marcado e identificación de la instalación y de su contenido**
**Clasificación de zona con riesgo de accidente respecto del equipo eléctrico**
**Precauciones contra incendios**
**Instalaciones de carga y descarga**
**Puesta en servicio y cierre definitivo**
**Mantenimiento y examen**
**Procedimientos de explotación**
**Capacitación**
**Bibliografía**

---

**Apéndice: Protección de los recipientes contra las condiciones de vacío**

## Glosario

**Area de evaporación** Una superficie de suelo situada en un lugar seguro y adyacente al recipiente o a los recipientes de almacenamiento en los que se puede colectar, evaporar y dispersar sin peligro el GLP.

**Autoridades encargadas del cumplimiento** La autoridad responsable del cumplimiento de la ley sobre seguridad e higiene en el trabajo de 1974 (HSW Act) y otras disposiciones legales pertinentes. Esta autoridad es normalmente la establecida en el reglamento de 1977 o la autoridad local para la zona determinada por la autoridad encargada del cumplimiento de las normas de seguridad e higiene.

**Capacidad del recipiente** La capacidad de un recipiente se expresa como el volumen en litros de agua requerido para llenar completamente el recipiente. También se menciona entre corchetes el equivalente en toneladas métricas más próximo (te), dado que es comúnmente utilizado. Sin embargo, esta segunda cifra es sólo aproximativa debido a las diferentes densidades del propano y del butano.

**Colector** Pozo o foso, emplazado en un lugar seguro, en el que se puede colectar el GLP para evaporarlo de una manera controlada.

**Distancia de separación** La distancia horizontal entre la parte más próxima de un recipiente de almacenamiento y el dispositivo específico.

**Elemento de construcción** Cualquier muro, suelo, techo, tejado, puerta o ventana (incluido el marco), etc., que forma parte de un edificio, habitación o cualquier otro lugar cerrado.

**Gas licuado de petróleo (GLP)** Expresión genérica utilizada para describir gases licuables constituidos predominantemente por hidrocarburos $C_3$ y $C_4$.

**Ignífugo** Se denomina elemento ignífugo de construcción al que mantendrá, por lo menos, el período indicado de resistencia al fuego (es decir, estabilidad, integridad y aislamiento) si se pone a prueba, por ambos lados, de conformidad con la norma británica BS 476: Parte 1: 1953 o Parte 8: 1972.

*a)* Cuando dos o más elementos de construcción juntos proporcionan un aislamiento, la juntura entre ellos debe estar impregnada o ignifugada para prevenir o retrasar el paso de las llamas o de los gases calientes dando eficacia al aislamiento contra el incendio entre los cuartos o espacios a ambos lados;

*b)* los elementos de construcción deberían ser lo suficientemente robustos para que sus propiedades ignífugas no se redujeran por causa de los daños causados por el desgaste normal. Puede ser necesaria una protección adicional, por ejemplo muros de contención, láminas de refuerzo, listones de rozamiento, etc., cuando se prevén daños mecánicos.

**Material no combustible** Todo material cuya no combustibilidad se puede poner a prueba de conformidad con la norma BS 476 Parte 4: 1970.

**Muro cortafuego** Un muro, pantalla o mampara construido al aire libre para reducir los efectos del calor radiado sobre un recipiente de GLP y para conseguir una distancia de dispersión adecuada del GLP que se escapa del recipiente.

**Recipiente** Contenedor o cisterna con una capacidad superior a 150 litros de agua, diseñado y construido como un recipiente de presión de especificación reconocida, por ejemplo BS 5500.

**Recipiente atrincherado** Recipiente de almacenamiento que puede estar emplazado sobre el suelo o enterrado en parte y que está completamente cubierto por un montículo de tierra o un material inerte análogo.

**Recipiente montado sobre plataforma** Recipiente de almacenamiento montado sobre un marco estructural que permite moverlo y transportarlo con facilidad.

**Recipiente subterráneo** Recipiente de almacenamiento situado por debajo del nivel del suelo en un pozo o foso rellenado con arena u otro material adecuado.

**Válvula de emergencia teleaccionada** Válvula de cierre capaz de ser teleaccionada, que se cerrará automáticamente al producirse una disminución de la energía impulsora o un fuego circundante y que, de preferencia, es incombustible de conformidad con la norma BS 5146: 1984, API 607 o API 6FA. Las válvulas electroimpulsadas no necesitan cerrarse en forma automática al quedar rodeadas por el fuego, si la fuente de energía está adecuadamente protegida contra el incendio.

## Introducción

1. La presente publicación proporciona una orientación general con respecto a las prácticas seguras de almacenamiento y manipulación de gas licuado de petróleo (GLP) en instalaciones de almacenamiento fijas. Proporciona una guía de prácticas seguras tanto para las personas que almacenan el GLP como para las que se encargan de hacer cumplir los requisitos de seguridad. Esta guía puede utilizarse cuando se han asignado deberes a ciertas personas con arreglo a la ley sobre seguridad e higiene en el trabajo y también como una buena práctica en otras circunstancias, como cuando se utilizan recipientes de almacenamiento en locales domésticos. Las recomendaciones tienen por finalidad reducir al mínimo los riesgos de incendio y explosión debidos a un escape de GLP o a un incendio en un almacén o cerca de él.

2. La información de esta guía indica un modo de lograr un nivel aceptable de seguridad. Cada caso ha de ser considerado por separado y circunstancias especiales pueden imponer la necesidad de apartarse de las recomendaciones. No se pretende excluir el uso de otros diseños, materiales y métodos cuando éstos proporcionan unos niveles de seguridad equivalentes. Tampoco se pretende que las recomendaciones deban aplicarse rígidamente a locales donde por diversas razones puede no ser factible ponerlas en práctica, aun cuando deberían efectuarse las alteraciones que se consideren razonables o esenciales para la seguridad. Las nuevas instalaciones deberían cumplir las recomendaciones de esta guía desde la fecha de su publicación.

## Alcance

3. Esta guía está destinada exclusivamente a las instalaciones en las que se almacena GLP a presión a temperaturas ambientes y en recipientes fijos con una capacidad superior a los 150 litros. Se aplica a todas esas instalaciones, independientemente de que el material se almacene para ser utilizado *in situ* o para ser transferido y posteriormente utilizado fuera del lugar, e incluye orientación sobre el diseño, la construcción y el examen de los recipientes de almacenamiento de GLP. También se presenta información sobre las precauciones que se han de adoptar durante la carga y descarga de los camiones y vagones cisternas.

4. No se da orientación sobre el almacenamiento de bombonas o cargadores que contengan GLP. En los documentos Guidance Note CS4 y Guidance Note CS8 figuran consejos sobre estos asuntos. El asesoramiento sobre el almacenamiento de GLP refrigerado, que anteriormente figuraba en la Guidance Note CS5, debe obtenerse en la oficina local de seguridad e higiene en el trabajo.

## Requisitos jurídicos

5. El almacenamiento de GLP normalmente estará sujeto a las obligaciones generales impuestas en la ley sobre seguridad e higiene en el trabajo. Puede estar asimismo sujeto a requisitos jurídicos adicionales como los siguientes:

*a)* en los locales sometidos a la ley de fábricas de 1961 se aplicará el reglamento de 1972 (reglamento HFL) relativo a los líquidos altamente inflamables y a los gases licuados de petróleo;

*b)* el reglamento de 1982 sobre la notificación de las instalaciones en donde se manipulan sustancias con riesgo de accidente (NIHHS) impone la obligación de que todos los locales en que se mantengan 25 toneladas o más de GLP deben notificarse a la Junta Ejecutiva de Seguridad e Higiene (HSE). Se puede obtener orientación sobre esos reglamentos en el folleto HS(R)16 de la HSE;

*c)* los requisitos generales establecidos en el reglamento de 1984 sobre la lucha contra los riesgos de accidentes industriales mayores (CIMAH) se aplican a todos los locales en los que se produce o procesa en cualquier cantidad GLP o en donde se almacenan 50 toneladas o más. En el folleto HS(R)21 de la HSE se da orientación sobre este reglamento y en el folleto HS(G)25 de la HSE se puede obtener información sobre los planes de emergencia requeridos por el reglamento;

*d)* en los locales sometidos al reglamento de 1976 sobre certificados contra incendios (locales especiales), de cuya aplicación se encarga la HSE, y a la ley de 1971 de precauciones contra incendios, de cuya aplicación se encargan las autoridades contra incendios, la presencia de GLP se puede tomar en consideración cuando se examinan las precauciones generales contra incendios;

## Cuadro 1. Propiedades físicas características del gas licuado de petróleo

| *Características físicas* | | *Butano comercial* | *Propano comercial* |
|---|---|---|---|
| Densidad relativa (respecto del agua) del líquido a 15,6 °C | | 0,57–0,58 | 0,50–0,51 |
| Litros/toneladas de líquido a 15,6 °C | | 1 723–1 760 | 1 957–2 019 |
| Densidad relativa (respecto del aire) del vapor a 15,6 °C y 1 015,9 mbar | | 1,90–2,10 | 1,40–1,55 |
| Relación entre el volumen del gas y del líquido a 15,6 °C y 1 015,9 mbar | | 233 | 274 |
| Volúmenes de la mezcla gas/aire al límite inferior de inflamabilidad de 1 volumen de líquido a 15,6 °C y 1 015,9 mbar | | 12 900 | 12 450 |
| Punto de ebullición °C | | −2 | −45 |
| Presión del vapor a 20 °C | bar | 2,5 | 9 |
| | psig | 40 | 130 |
| a 50 °C | bar | 7 | 19,6 |
| | psig | 100 | 283 |
| Límite inferior de inflamabilidad, | % v/v | 1,8 | 2,2 |
| Límite superior de inflamabilidad, | % v/v | 9,0 | 10,0 |

Fuente: LPGITA: An Introduction to Liquefied Petroleum Gases.

*e)* las operaciones de carga y descarga de cisternas y contenedores con una capacidad superior a los 3 $m^3$ cuando están cargados o descargados mientras se encuentran sobre un vehículo, están sometidas a los requisitos del reglamento de 1981 sobre las sustancias con riesgo de accidente (transporte por carretera en cisternas y contenedores);

*f)* si el GLP se suministra por tubería, se aplicará la ley de 1962 relativa a las tuberías. Sin embargo, esa ley no se aplica a algunas tuberías especificadas, incluidas las que se encuentran en su totalidad dentro de los locales de fábricas, minas, canteras y depósitos de petróleo. La Inspección de Tuberías del Departamento de Energía, a quien se deben dirigir las solicitudes de información, se encarga de vigilar el cumplimiento de esta ley;

*g)* cuando el GLP se suministra como un gas a través de tubos hasta locales, este suministro debe ser autorizado por la ley de 1986 sobre gases o de acuerdo con la misma, con sujeción a ciertas excepciones. El suministro de gas a través de tubos por una persona sin autorización, en circunstancias en que se requiere autorización, constituye un delito. Se puede obtener más información de la Office of Gas Supply, Southside, 105 Victoria Street, Londres SW1E 6QT.

Nota: Aunque el propio GLP no está sujeto a la ley de 1928 sobre el petróleo (refundida), la Petroleum Licensing Authority puede tener en cuenta su presencia al determinar la condición de cualquier licencia que pueda extender con arreglo a la ley.

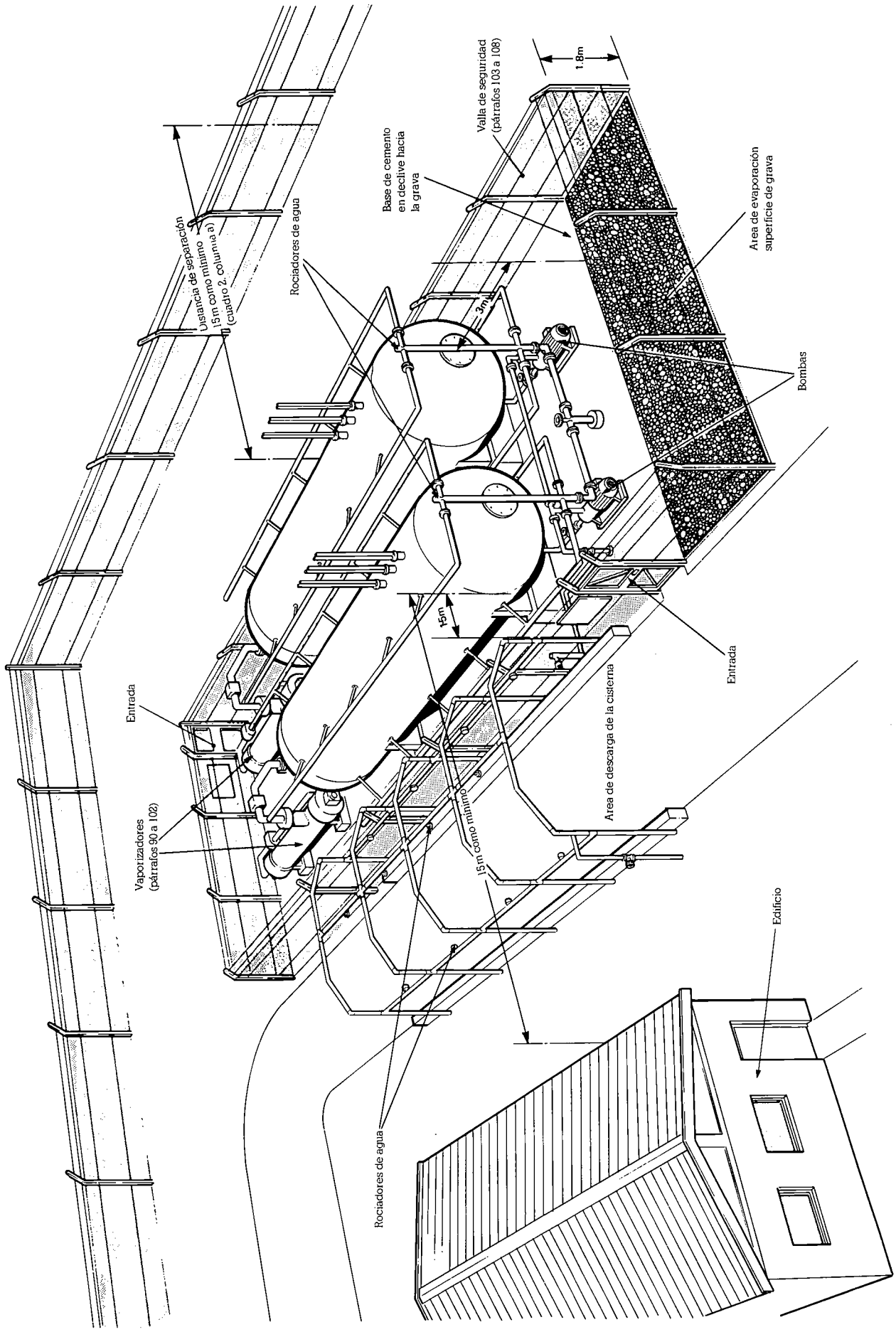



**Figura 1. Dos recipientes de 60 toneladas con vaporizadores**

## Propiedades y riesgos de accidente del GLP

6. Los dos gases licuados de petróleo generalmente utilizados son el butano comercial y el propano comercial. En el cuadro 1 se indican sus principales características físicas. Esos hidrocarburos existen como gases a temperaturas y presiones normales, pero se pueden licuar sometidos a presión moderada. Si la presión se aligera después, los hidrocarburos vuelven a su estado gaseoso.

7. El GLP es incoloro y su densidad como líquido se aproxima a la mitad de la del agua. Si se vierte GLP sobre el agua, flotará sobre la superficie antes de evaporarse. El líquido tiene aproximadamente 1/250a. parte del volumen del gas.

8. El gas o vapor es por lo menos 1½ veces tan denso como el aire y no se dispersa fácilmente. Tenderá a hundirse en el nivel más bajo posible y se puede acumular en sótanos, pozos, sumideros u otras depresiones.

9. El GLP forma mezclas inflamables con el aire en concentraciones que oscilan aproximadamente entre el 2 y el 10 por ciento. Por consiguiente, puede constituir un riesgo de incendio y explosión, si se almacena o utiliza incorrectamente. Ha habido casos en que escapes de GLP se han inflamado, provocando incendios graves. Si el GLP se escapa en un espacio cerrado y se inflama, se puede producir una explosión. Si un recipiente de GLP está en medio de un incendio, puede calentarse excesivamente y romperse con violencia, provocando una bola de fuego de calor intenso y proyectando trozos del recipiente a considerables distancias.

10. Las mezclas de vapor/aire derivadas de escapes u otras causas pueden inflamarse a cierta distancia del punto de escape, y la llama regresar a la fuente.

11. En concentraciones muy elevadas, cuando está mezclado con el aire, el vapor de GLP es anestésico y posteriormente asfixiante al diluirse o reducirse el oxígeno disponible.

12. El GLP puede causar graves quemaduras frías a la piel debido a su rápida evaporación y a la consiguiente disminución de la temperatura. La evaporación de GLP puede también enfriar el equipo en grado tal que el frío pueda causar quemaduras. Se deben llevar prendas de protección, como guantes y gafas protectoras, si es probable que se produzca este enfriamiento.

13. El GLP normalmente se odoriza antes de su distribución, de manera que tiene un olor característico y reconocible con facilidad. Esto permite detectar por el olor la presencia del gas en concentraciones de sólo un quinto del límite inferior de inflamabilidad (aproximadamente el 0,4 por ciento del gas en el aire). Escapes importantes pueden también detectarse por un ruido sibilante o la congelación en el área donde se produce el escape. Los escapes pequeños se pueden detectar restregando las áreas que despiertan sospechas con una mezcla de detergente y agua que formará burbujas en el punto de infiltración. **En ningún caso se debe utilizar una llama desnuda ni ninguna otra fuente de ignición para detectar un escape.**

14. Un recipiente que ha contenido GLP y que supuestamente está vacío puede seguir conteniendo GLP en forma de vapor y ser potencialmente un riesgo de accidente. En esa situación la presión interna es aproximadamente la atmosférica y, si una válvula tiene escapes o se deja abierta, el aire puede difundirse dentro del recipiente y formar una mezcla inflamable que creará un riesgo de explosión. El GLP se desplazará asimismo a la atmósfera.

## Emplazamiento, separación y agrupación

15. Los recipientes de GLP colocados sobre el suelo deben estar emplazados al aire libre, en lugar bien ventilado con las distancias de separación que se indican en el cuadro 2, columna a. Los recipientes subterráneos o atrincherados deben estar emplazados de manera que la boca de inspección y la válvula de seguridad se encuentren en un lugar bien ventilado y con las distancias de separación indicadas en el cuadro 2, columna d. Antes de utilizar distancias de separación inferiores a las indicadas en el cuadro 2 se debe recabar el asesoramiento de las autoridades encargadas del cumplimiento. El emplazamiento de las instalaciones de recipientes con una capacidad superior a 337 500 litros (150 te) se debe examinar con el HSE.

16. Los recipientes de GLP no deben estar colocados uno encima de otro. El terreno situado debajo o adyacente a conexiones con los recipientes o equipo auxiliar que contenga GLP debe ser de hormigón o estar apisonado y no tener pozos, depresiones, sumideros ni alcantarillas. Cuando todas las conexiones de un recipiente están unidas por una extremidad, el terreno apisonado o de hormigón puede ser necesario sólo debajo de las conexiones. El terreno comprendido

**Figura 2. Pequeño recipiente a granel adyacente a un edificio**

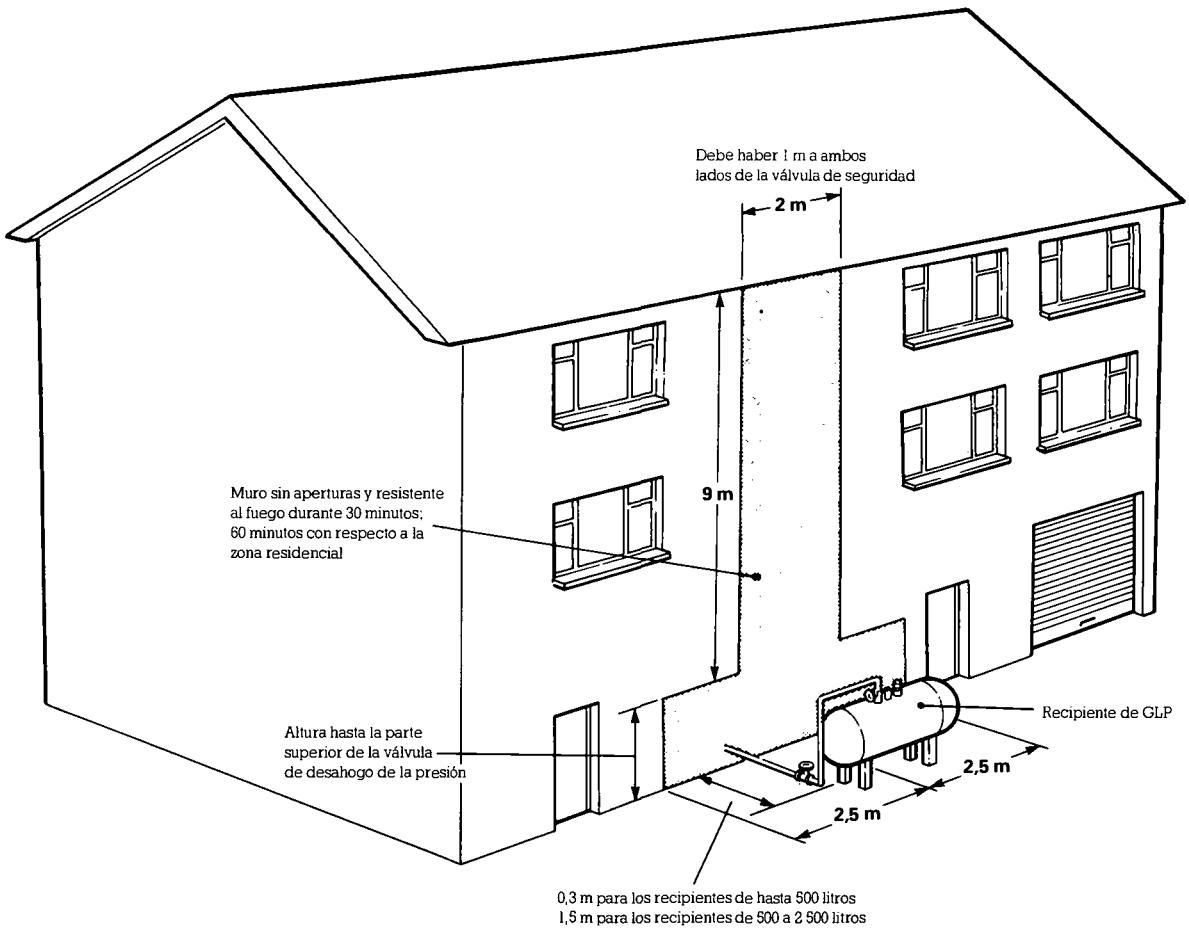
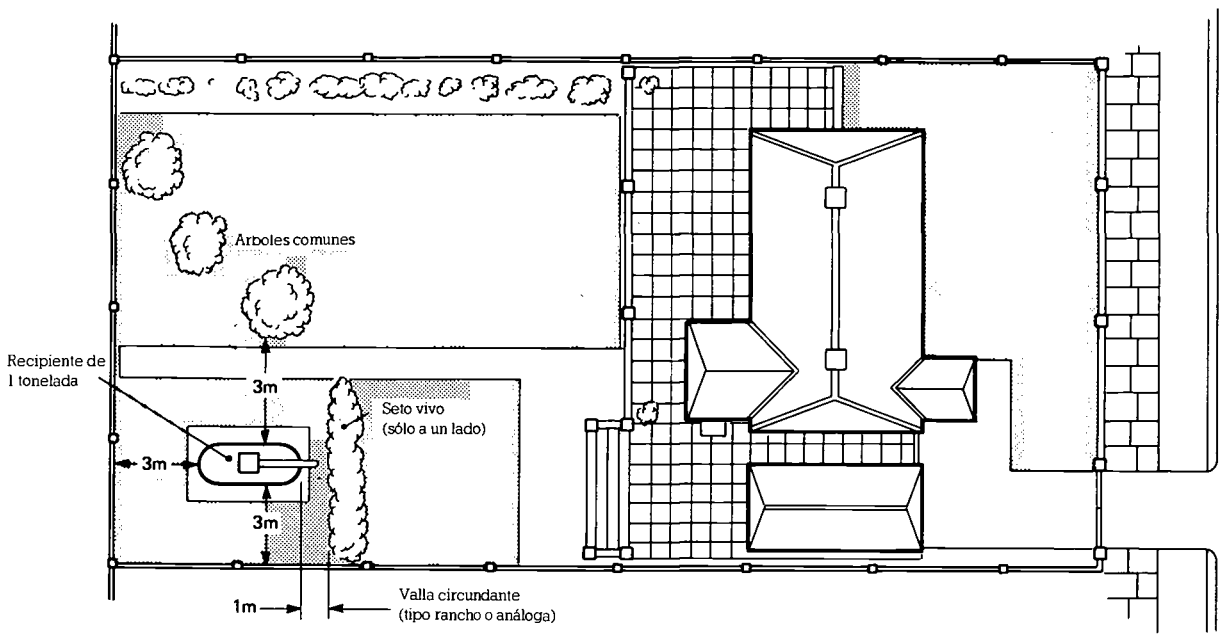



**Figura 3. Pequeño recipiente a granel en locales domésticos**



## Cuadro 2. Emplazamiento y espaciamiento de los recipientes

Capacidad máxima de agua — Distancias mínimas de separación

| *De un único recipiente de un grupo* | | | *De todos los recipientes de un grupo* | | *Recipientes colocados sobre el suelo* | | | *Recipientes enterrados o atrincherados* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | De los edificios, etc., a | | |
| Litros | Galones | Capacidad nominal de GLP (toneladas) | Litros | Galones | De los edificios, los límites, la delimitación de la propiedad o una fuente fija de ignición (a) | Con muro cortafuegos (b) | Entre recipientes (c) | Conjunto de válvulas (d) | Recipiente (e) | Entre recipientes (f) |
| | | | | | m (ft) | m | m | m | m | m |
| 150 a 500 | 28 a 100 | 0,05 a 0,25 | 1 500 | 330 | 2,5 (8) | 0,3* | 1 | 2,5 | 0,3 | 0,3 |
| > 500 a 2 500 | 100 a 500 | 0,25 a 1,1 | 7 500 | 1 650 | 3 (10) | 1,5 | 1 | 3 | 1 | 1,5 |
| > 2 500 a 9 000 | 500 a 2 000 | 1,1 a 4 | 27 500 | 6 000 | 7,5 (25) | 4 | 1 | 7,5 | 3 | 1,5 |
| > 9 000 a 135 000 | 2 000 a 30 000 | 4 a 60 | 450 000 | 100 000 | 15 (50) | 7,5 | 1,5 | 7,5 | 3 | 1,5 |
| > 135 000 a 337 500 | 30 000 a 75 000 | 60 a 150 | 1 012 500 | 225 000 | 22,5 (75) | 11 | ¼ de la suma del diámetro de 2 recipientes adyacentes | 11 | 3 | ‡ |
| > 337 500 | > 75 000 | > 150 | 2 250 000 | 500 000 | 30 (100) | 15 | » | 15 | 3 | ‡ |

* Para los recipientes de una capacidad de hasta 500 litros, el muro cortafuegos no debe ser más alto que la parte superior del recipiente y puede formar parte de los límites del emplazamiento. El muro cortafuegos para un recipiente de una capacidad de hasta 2 500 litros de agua puede formar parte del muro de un edificio de acuerdo con la figura 2. Cuando la parte de un edificio se utiliza con fines residenciales, el muro, con inclusión de cualquier voladizo, pero con exclusión de los aleros del tejado contra el que se almacena el GLP, debe poder resistir al fuego durante 60 minutos y no ha de estar perforado.

‡ El espacio entre los recipientes adyacentes debe determinarse en función de las condiciones del emplazamiento y de las necesidades relativas a una instalación segura, los ensayos, el mantenimiento y la retirada de los recipientes.

dentro de la distancia de separación que se indica en el cuadro 2, columna a, debe, en la medida de lo posible, ser llano y liso, salvo debajo del recipiente o cuando está en pendiente hacia una zona de evaporación o un colector.

17. En el área que se encuentra dentro de la distancia de separación indicada en el cuadro 2, columna a, de cualquier recipiente de GLP con una capacidad de hasta 2 500 litros (1,1 te), y dentro de un espacio de 6 m de los recipientes mayores, conviene suprimir todas las malas hierbas, hierbas largas, arbustos de hojas caducas y árboles, así como cualquier otro material combustible. No se debe emplear clorato sódico para limpiar las malas hierbas cerca de los recipientes de GLP.

18. Los arbustos o árboles utilizados para ocultar los recipientes de GLP no deben obstaculizar la ventilación, y, por consiguiente, sólo deben colocarse a un lado de la instalación. Los arbustos o árboles perennifolios pueden situarse a 1 m de los recipientes de hasta 5 000 litros de capacidad con este fin. Para los recipientes mayores se aplican las distancias de separación indicadas en el párrafo 17.

19. Para todos los recipientes con conexiones por debajo del nivel del líquido, el terreno que se encuentra bajo el recipiente o las conexiones debe estar inclinado a fin de impedir la acumulación del líquido debajo de ellos y garantizar el paso del flujo desde el recipiente, los recipientes adyacentes o el equipo auxiliar hacia una zona segura. No es necesario afirmar u hormigonar el suelo por debajo de las conexiones que se taponan u obturan.

20. Los recipientes de propano con una capacidad de 56 250 litros (25 te) o más y los recipientes de butano con

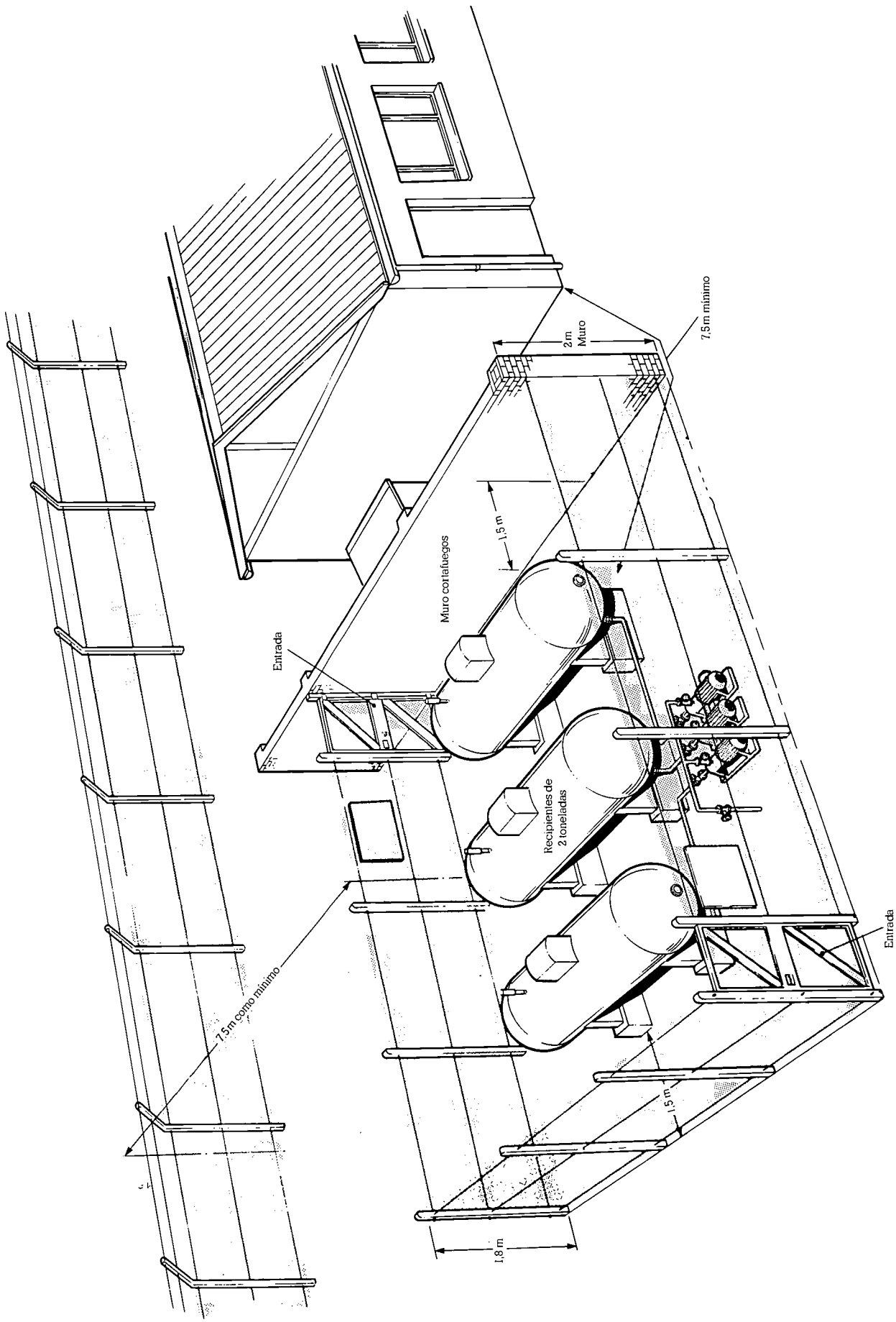



**Figura 4. Recinto de recipientes con muro cortafuegos**

una capacidad de 11 250 litros (5 te) o más, y en cada caso con conexiones por debajo del nivel del líquido, deben contar con dispositivos para dirigir cualquier derrame grande de GLP hacia una zona de evaporación o un colector. Estos deben estar emplazados en un lugar seguro alejado de edificios ocupados, lindes o fuentes de ignición. El GLP que se escapa debe dirigirse hacia una zona de evaporación o colector mediante la inclinación del suelo en la dirección requerida y, cuando sea necesario, instalando paredes bajas, normalmente de no más de 500 mm de altura, para encauzar el flujo en la buena dirección. Normalmente, los colectores sólo serán apropiados en instalaciones grandes.

21. Los colectores deben tener una capacidad suficiente para contener la máxima pérdida verosímil y deben estar lo suficientemente bien ventilados para permitir la dispersión segura de pequeños escapes. Se deben instalar detectores de gas en el colector para alertar sobre la presencia de vapor de GLP.

22. Cualquier colector debe estar suficientemente alejado de los recipientes de GLP, los edificios, los lindes, etc., de modo que si está lleno de un GLP que se inflama, la radiación térmica no exceda de los niveles siguientes:

*a)* 7,8 Kw/m$^2$ en las zonas de trabajo, las instalaciones donde se realizan los procesos y los recipientes de GLP no protegidos;

*b)* 12,6 Kw/m$^2$ en los lindes;

*c)* 31,5 Kw/m$^2$ en los recipientes de GLP protegidos por dispersores de agua o aislamiento térmico.

23. Las zonas de evaporación deben estar situadas por lo menos a 3 m de los recipientes de GLP. La superficie de la zona debe estar cubierta con esquirlas de piedra o materiales análogos para aumentar su espesor y favorecer la evaporación y dispersión del gas.

24. Los recipientes no deben estar emplazados en lugares que se sepa pueden ser inundados.

25. Los recipientes de almacenamiento de GLP deben estar instalados a 6 m por lo menos del muro de protección de cualquier cisterna que contenga un líquido inflamable con una temperatura de inflamabilidad comprendida entre los 32 y los 65 °C. La distancia mínima de separación entre un recipiente de almacenamiento de GLP y la parte superior del muro de protección de cualquier cisterna que contenga un líquido inflamable debe ser de 3 m. (Véase el cuadro 3.)

26. Los recipientes que contengan oxígeno líquido deben estar emplazados a una distancia no inferior a la de separación que se indica en el cuadro 4 para los recipientes que contienen GLP. Los recipientes que contengan materiales tóxicos u otros materiales con riesgo de accidente y almacenados bajo presión, por ejemplo cloro, deben estar situados por lo menos a 15 m de los recipientes de almacenamiento de GLP o a las distancias de separación que se indican en la columna a del cuadro 2, si éstas son mayores.

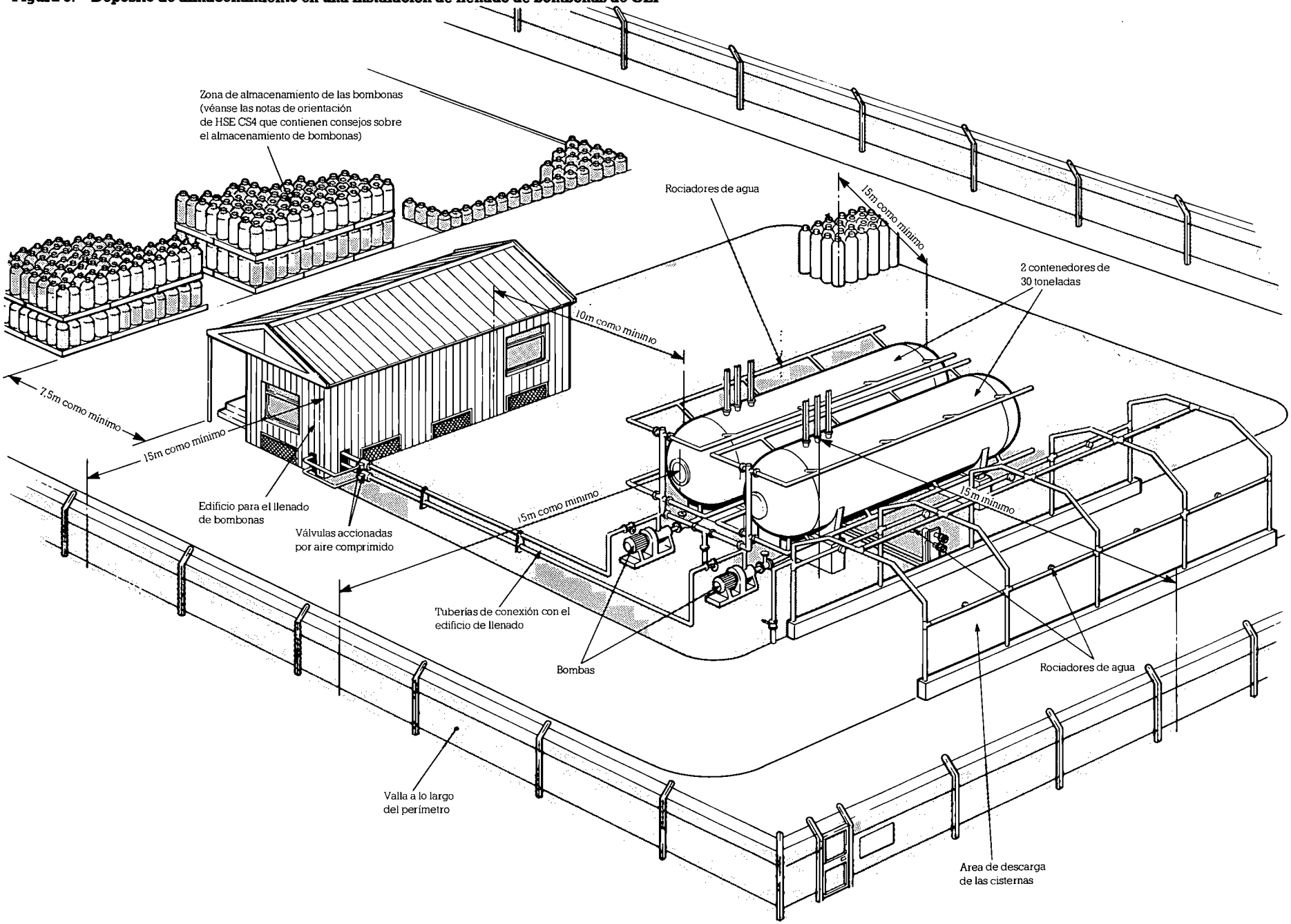
27. Los recipientes de almacenamiento de GLP no deben estar situados dentro del recinto amurallado de un recipiente que contenga un líquido inflamable, cualquier recipiente de almacenamiento calentado, por ejemplo un recipiente para fuel oil muy viscoso, oxígeno líquido o cualquier otra sustancia con riesgo de accidente.

28. El número de recipientes de almacenamiento de GLP emplazados sobre el suelo en un grupo no debe exceder de seis, a reserva de que la capacidad total máxima de un grupo no supere la indicada en el cuadro 2. Cualquier recipiente de un grupo debe estar situado a 7,5 m o a la distancia de separación indicada en la columna c del cuadro 2, si ésta es mayor, del recipiente más próximo de otro grupo, a menos que se construya un muro cortafuegos entre los dos grupos.

29. Las bombonas de GLP con una cantidad total superior a 50 kg con válvulas de seguridad que dan salida horizontalmente no deben almacenarse a menos de 7,5 m de recipientes con una capacidad superior a los 5 000 litros o de 3 m de los recipientes con una capacidad inferior a ésa. Hasta los 300 kg de GLP en bombonas o recipientes dotados de válvulas de desahogo de la presión con salida vertical, la mayor parte de los cilindros de las carretillas de horquilla elevadora pueden almacenarse dentro del recinto de seguridad del recipiente a por lo menos 1 m de éste. (Véase el cuadro 3.)

30. Hasta 300 kg de propano se pueden almacenar en bombonas que se mantengan a distancias inferiores a 7,5 m o a 3 m de un recipiente (véase el párrafo 29) a los efectos de aumentar la presión de un recipiente de butano en tiempo frío o de proporcionar un suministro de emergencia de propano al producirse un fallo de los suministros a granel. Las bombonas deben estar colocadas por lo menos a 1 m del recipiente. Las válvulas de desahogo de la presión no deben estar orientadas en dirección al recipiente o se debería construir un muro cortafuegos entre las bombonas y el recipiente.

**Figura 5. Depósito de almacenamiento en una instalación de llenado de bombonas de GLP**



## Cuadro 3. Separación de las sustancias peligrosas y las operaciones de contenedores de GLP

| *Sustancia* | *Distancia mínima de separación* | *Véase el párrafo* |
|---|---|---|
| Líquidos inflamables<br>temper. inflam. < 32°C<br>temper. inflam. 32–65°C | <br>6 m al muro de protección<br>6 m a la cisterna y 3 m<br>a un muro de protección | <br>25 |
| Tanque que contiene sustancias tóxicas o peligrosas | 15 m o la distancia de separación de la columna a del cuadro 2, si ésta es mayor | 26 |
| Cantidad total de bombonas de GLP de GLP > 50 kg | 3 m de los contenedores de GLP < capacidad 5 000 litros<br><br>7,5 m a los contenedores de GLP > capacidad 5 000 litros | 29<br><br>29 |
| Excepto las bombonas de GLP con válvulas de desahogo de la presión de dispersión vertical ≤ 300 kg | 1 m | 29 |
| Bombonas de propano para un aumento de la presión o un suministro de emergencia, con las válvulas de desahogo de la presión apuntando lejos del contenedor ≤ 300 kg | 1 m | 30 |
| Edificio de llenado de las bombonas | 10 m de los contenedores de hasta 135 000 litros y 15 m de los contenedores más grandes | 31 |

## Cuadro 4. Distancia de separación entre los contenedores de GLP y los tanques de oxígeno líquido

| *Capacidad en litros de agua de los contenedores de GLP* | *Capacidad nominal de los contenedores de GLP (toneladas)* | *Capacidad de oxígeno líquido (litros)* | *Distancia de separación (metros)* |
|---|---|---|---|
| <br>> hasta 2 500<br>> 2 500 a 9 000<br>> 9 000 a 135 000<br>> 135 000 a 337 000<br>> 337 000 | <br>0–1,1<br>> 1,1–4<br>> 4–60<br>> 60–150<br>> 150 | Hasta<br>125 000<br>»<br>»<br>»<br>» | <br>6<br>7,5<br>15<br>22,5<br>30 |
| Hasta 5 000<br>> 5 000 a 500 000<br>> 500 000 | 0–2<br>> 2–220<br>> 220 | Más de 125 000<br>»<br>» | 30<br>45<br><br>Se debe solicitar asesoramiento de expertos |

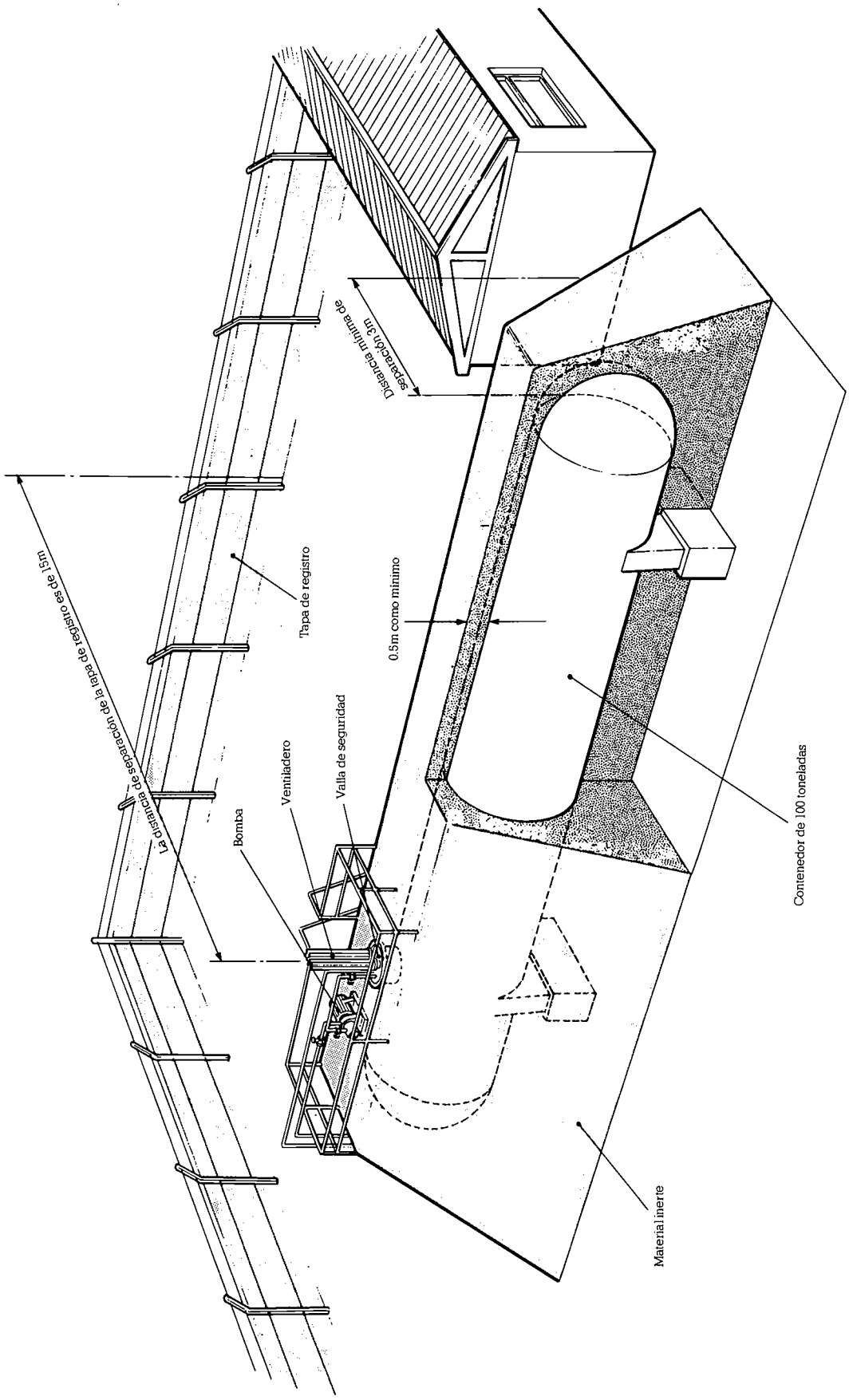



**Figura 6. Contenedor atrincherado**

31. Los edificios o estructuras en que se llenan las bombonas con GLP u otros gases inflamables deben estar situados a 10 m de los depósitos de GLP a granel con una capacidad de hasta 135 000 litros (60 te) y a 15 m de los depósitos más grandes. Esta distancia de separación no es necesaria cuando sólo se llena un número reducido de bombonas, o cilindros, por ejemplo, para las carretillas de horquilla elevadora. (Véase el cuadro 3.) Para los recipientes subterráneos esta distancia se puede reducir a 5 m o a la distancia de separación que se indica en la columna d del cuadro 2, si ésta es mayor.

32. En la medida en que sea razonablemente posible, los recipientes de almacenamiento horizontal se deben emplazar de manera que sus ejes largos no apunten hacia edificios ocupados cercanos, componentes importantes de equipo o cisternas de almacenamiento que contengan materiales con riesgo de accidente.

### Muros cortafuegos

33. El objetivo de un muro cortafuegos es proteger al recipiente o a los recipientes de las radiaciones térmicas de un incendio cercano y garantizar una distancia de dispersión adecuada a los lindes, los edificios y las fuentes de ignición de un escape de GLP del recipiente o de sus accesorios.

34. Un muro cortafuegos no debe estar perforado y debe construirse con mampostería sólida, cemento o materiales análogos. Salvo para los recipientes de hasta 500 litros (0,25 te), dicho muro debe tener por lo menos una altura de 2 m o ser tan alto como la parte superior del recipiente, si esta dimensión es mayor, y debe estar emplazado entre 1 m y 3 m del punto más próximo del recipiente. Con la construcción de un muro cortafuegos, las distancias de separación pueden reducirse a los valores indicados en la columna b del cuadro 2. Para los recipientes de hasta 500 litros, véase la nota de pie de página del cuadro 2.

35. La distancia entre el recipiente y cualquier elemento especificado medida alrededor de los extremos del muro cortafuegos debe ser igual o mayor que la distancia de separación indicada en la columna a del cuadro 2.

36. Normalmente, un muro cortafuegos sólo se debe construir a un lado de un recipiente o grupo de recipientes.

## Integridad mecánica

37. La integridad mecánica de los contenedores de GLP no está inicialmente garantizada, a menos que se adopten los criterios de diseño correctos. Estos deben reflejar las necesidades del proceso y las condiciones ambientales, prestándose particular atención al uso del vacío y de las bajas temperaturas. El diseño de los contenedores subterráneos y atrincherados requerirá que se haga una valoración de las condiciones más arduas introducidas.

38. Los contenedores de GLP deben proyectarse, construirse, ponerse a prueba y certificarse de acuerdo con una norma apropiada, por ejemplo BS 5500 en lo que respecta a los nuevos contenedores. Deben construirse de acero, material adecuado para el uso a una temperatura de funcionamiento mínima segura. Los requisitos del diseño deben satisfacer o superar las normas siguientes:

| | Propano | Butano |
|---|---|---|
| Presión máxima de funcionamiento seguro | 14,5 bar (210 psig) | 4,83 bar (70 psig) |
| Presión mínima de funcionamiento seguro | 0 bar | 480 milibar absoluta (7 psi absoluta) |
| Temperatura mínima de funcionamiento seguro | −40 °C | −18 °C |

Los requisitos del diseño para contenedores que se van a utilizar indistintamente para almacenar propano o butano deben ser los siguientes:

| | |
|---|---|
| Presión máxima de funcionamiento seguro | 14,5 bar (210 psig) |
| Presión mínima de funcionamiento seguro | 480 mbar absoluta (7 psi absoluta) |
| Temperatura mínima de funcionamiento seguro | −40 °C |

39. Alguna persona competente debería verificar las instalaciones de butano existentes para determinar si satisfacen los criterios de diseño indicados en el párrafo 38. De no ser así, el contenedor o instalación debe modificarse para cumplir los requisitos o se ha de instalar un sistema de prevención en el vacío. (Véase el apéndice.)

40. Todos los contenedores deben estar marcados con la presión mínima de funcionamiento seguro. Cuando ésta no se conoce y no se puede determinar, se debe partir del supuesto de que es una presión absoluta de 1 bar (presión manométrica cero) y el contenedor se debe marcar en consecuencia.

### Contenedores subterráneos y atrincherados

41. Los contenedores subterráneos deben estar emplazados en un suelo bien drenado. El contenedor debe estar colocado de preferencia en un foso revestido

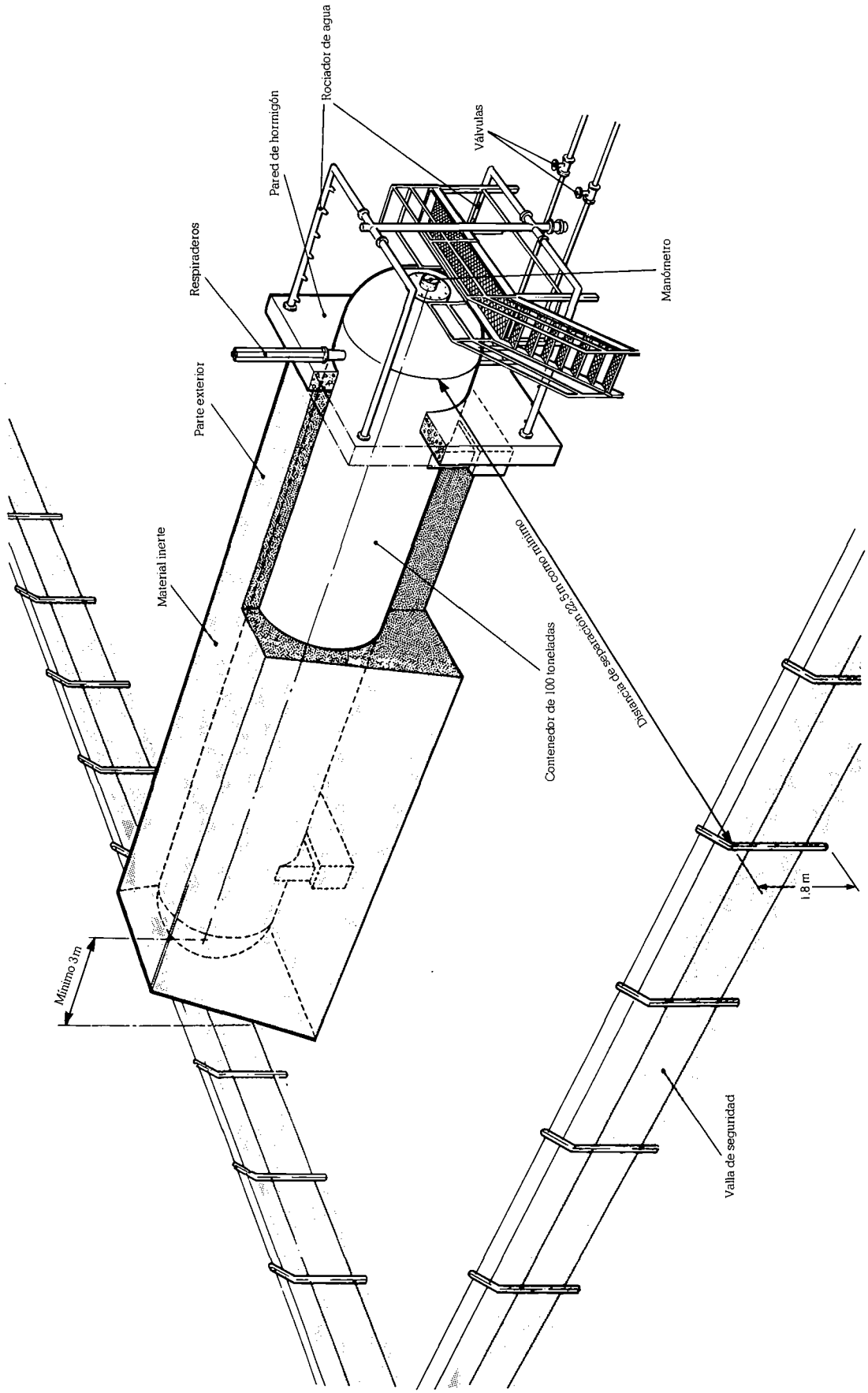



**Figura 7. Recipiente semiatrincherado**

de hormigón o de ladrillo que permitirá su instalación y rellenado seguros y facilitará el acceso para las inspecciones. Los contenedores pueden estar instalados en excavaciones a cielo abierto donde éstos requisitos se pueden cumplir.

42. Los contenedores subterráneos o atrincherados deben estar colocados sobre unos cimientos firmes e instalarse de manera que se impida el movimiento o la flotación. La superficie de los contenedores debe estar adecuadamente preparada y tratada para protegerlos contra la corrosión. Entre los métodos de protección cabe mencionar el revestimiento de la superficie y la protección catódica.

43. La excavación debe ser lo suficientemente ancha para permitir una fácil instalación y debe preverse una separación de por lo menos 1 m entre la estructura del contenedor y las paredes antes del relleno. Cuando se baja el contenedor para colocarlo, se debe evitar que se dañe el revestimiento. Cuando el contenedor está en su sitio, se debe verificar el revestimiento con un aparato adecuado de detección de las fallas para reparar cualquier daño que se haya producido.

44. El material de relleno debe ser inerte, no corrosivo, no contener materiales ni partículas abrasivos que puedan dañar el revestimiento del contenedor y estar suficientemente compactado para garantizar un recubrimiento mínimo de 500 mm.

45. Los contenedores atrincherados deben estar cubiertos por un material adecuado que sea inerte, no corrosivo, no posea partículas ni materiales abrasivos que puedan dañar el revestimiento del contenedor y estar cuidadosamente consolidado para garantizar un recubrimiento mínimo de 500 mm. La trinchera debe proteger al contenedor contra los efectos de las radiaciones térmicas y ser lo suficientemente robusta para mantenerse en su sitio en caso de ataque de una llama producida por combustión de petróleo.

46. Los contenedores subterráneos y atrincherados deben disponer normalmente de un registro no menor de 560 mm de diámetro interior para permitir el acceso con fines de inspección. Cuando no se dispone de un registro, se debe contar con puertas o ventanillas de inspección y es posible que resulte necesario excavar el contenedor para inspeccionarlo en su totalidad. Los accesorios y las conexiones del contenedor pueden estar montados en la tapa del registro o conectados directamente al contenedor. Si se utiliza este último método, quizás sea necesario proceder a una excavación para la inspección.

**Recipientes montados sobre plataforma**

47. Los recipientes montados sobre plataforma, ya se utilicen desde un vehículo o se coloquen sobre el suelo, deben ajustarse a las directrices aplicables a los contenedores fijos que figuran en el presente folleto.

48. El recipiente o contenedor debe estar construido de acuerdo con una norma aceptable relativa a la presión y satisfacer los requisitos indicados en los párrafos 37 a 40 y 55 a 57 con respecto a la integridad mecánica, y a los párrafos 58 a 71 con respecto a los accesorios.

49. Cuando es necesario desplazar el recipiente, se debe extraer de él todo el líquido antes de levantarlo o cambiarlo de posición, a menos que el recipiente haya sido diseñado para transportar GLP. Cualquier contenedor superior a 3 $m^3$ de volumen se regirá por el reglamento de 1981 sobre sustancias peligrosas (transporte por carretera en cisternas y contenedores), en cuyo caso deberá también cumplir los requisitos indicados en ese reglamento.

50. El recipiente debe estar montado de manera adecuada sobre un vehículo para impedir que se someta a tensiones indebidas. Ningún saliente lateral o de cola del vehículo debe impedir la ventilación en torno al contenedor. Ninguna parte del contenedor debe desbordar de los lados o extremos del vehículo, a menos que se elimine completamente el GLP del contenedor.

51. Si el contenedor se va a utilizar mientras está sobre el suelo:

*a)* el terreno sobre el que está emplazado el contenedor debe estar apisonado y considerablemente nivelado;

*b)* el contenedor debe colocarse sobre pies que constituyan una parte integral de él, o sobre soportes adecuados.

52. Los contenedores sólo se deben utilizar a partir de un vehículo, si el vehículo ha sido diseñado para el transporte de sustancias con riesgo de accidente de conformidad con el reglamento de 1981 sobre sustancias con riesgo de accidente (transporte por carretera en cisternas y contenedores).

53. El terreno sobre el que se estaciona el vehículo debe ser firme y estar considerablemente nivelado, y, además de contar con un freno de estacionamiento eficaz, se deben poner calzas a las ruedas.

54. Debido al carácter provisional de los contenedores montados sobre plataformas, es particularmente importante que las tuberías sean de una gran calidad, y antes de su uso se debe verificar a fondo que no haya escapes, cada vez que se mueve el contenedor.

### Certificación de todos los contenedores

55. Después de la instalación y antes de llenarlo de líquido, una persona competente debe examinar el recipiente. Se debe prestar particular atención a los accesorios laterales, los dispositivos de protección, y los soportes y cimientos del contenedor. Se debe extender un certificado de que el contenedor cumple los requisitos para almacenar el GLP de que se trate. Una persona competente deberá determinar si es necesaria alguna inspección adicional del lugar o alguna prueba y certificar los límites de funcionamiento seguro con respecto a presión, temperatura y carga. Para los contenedores subterráneos o atrincherados, el examen se debe efectuar antes de proceder al terraplenado o atrincheramiento.

56. Los recipientes existentes deben llevar una certificación análoga de que están aptos para el servicio, emitida por una persona competente. Antes del primer examen periódico, debe referirse a su estado como si fuera nuevo. Después del primero y de los subsiguientes exámenes, la persona competente debe confirmar los límites de trabajo seguro según las conclusiones de la inspección. Para obtener una orientación sobre el examen y la inspección durante el servicio, véanse los párrafos 182 a 191.

### Marcado

57. Si no están ya incluidos en los requisitos de la norma de fabricación, los datos adicionales que se mencionan a continuación deben indicarse sobre el recipiente o incluirse en la documentación de que se dispone para la inspección:

*a)* en una chapa:
nombre de los fabricantes
fecha de fabricación
norma con arreglo a la cual se construyó
número de referencia
presión máxima para un funcionamiento seguro
presión mínima para un funcionamiento seguro, cuando ésta es distinta de la atmosférica. Si no se marca un mínimo, se supone que la presión es la atmosférica.
presión de ensayo
temperatura mínima de funcionamiento seguro
capacidad de agua
autoridad encargada de la inspección

*b)* incluidos en la documentación:
carga máxima permisible (contenido)
carga máxima permisible sobre los soportes.

## Accesorios

58. Todos los accesorios deben ser adecuados para el uso con GLP a temperaturas y presiones que es probable se den en el servicio. Para reducir la probabilidad del escape de un líquido, el número de conexiones directas por debajo del nivel del líquido debe reducirse a un mínimo y, siempre que sea posible, se debe prever una sola derivación, con exclusión de las tuberías de drenaje. Todas las demás conexiones deben terminar en el espacio del vapor.

59. Cada contenedor debe estar dotado, por lo menos, con alguno de los elementos siguientes:

*a)* una válvula de desahogo de la presión conectada directamente al espacio del vapor;

*b)* un drenaje u otro medio de vaciar el contenedor de líquido;

*c)* un indicador del nivel máximo y de preferencia un medidor del volumen. El indicador del nivel máximo debe ser independiente del medidor del volumen;

*d)* una conexión para la carga;

*e)* un medio de impedir un vacío excesivo, si así está regulado en el diseño del contenedor. (Véase el apéndice);

*f)* un medidor de presión conectado con el espacio del vapor, si el contenedor tiene una capacidad superior a los 5 000 litros (2,2 te). Para los contenedores menores de este tamaño, se debe prever la determinación de la presión en el contenedor, por ejemplo, por medio de una derivación con válvula en el espacio del vapor del contenedor o en las tuberías adyacentes.

### Válvulas de desahogo de la presión

60. Todos los contenedores de tierra mencionados deben estar dotados de una válvula de desahogo de la presión o de válvulas concebidas para proteger al contenedor cuando haya un riesgo de incendio, de

conformidad con un código admitido, por ejemplo LPGITA Code of Practice Núm. 1, API 520, API RP2000, BS 6759: Parte 3: 1984.

61. La capacidad total del flujo de las válvulas de desahogo de la presión montadas en los contenedores subterráneos o atrincherados debe reducirse a no menos del 30 por ciento de la capacidad requerida con respecto a un tamaño equivalente de un recipiente situado sobre el suelo o cualquier otro valor que proteja de manera adecuada al contenedor.

62. Todas las válvulas de desahogo o de seguridad deben estar permanentemente marcadas con:

*a)* el nombre del fabricante y la identificación, incluido el número de catálogo o tipo;

*b)* el punto en que se ha de empezar a descargar la presión;

*c)* la capacidad certificada en función del aire a 15,6 °C y presión de 1 bar;

*d)* la fecha de la última inspección o montaje.

63. Una válvula de aislamiento no debe fijarse entre una válvula de desahogo de la presión única y el espacio del vapor del contenedor. En lo que respecta a las válvulas de desahogo múltiples, si se prevé aislar una válvula de desahogo con fines de mantenimiento o ensayo, se deben instalar dispositivos de interbloqueo para garantizar que las válvulas restantes siguen en servicio. Estas deben poder proporcionar la capacidad de desahogo requerida en el párrafo 60. Para los contenedores dotados de una única válvula de desahogo, se debe prever su separación para ponerla a prueba o repararla utilizando válvulas de cierre automático. Esta válvula debe permanecer en la posición de plenamente abierta con la válvula de desahogo colocada y cerrada, antes de que se saque completamente la válvula de desahogo. Es esencial que el contenedor de almacenamiento no quede desprotegido, por lo que se debe fijar inmediatamente una válvula de desahogo de sustitución.

64. Para los contenedores de tierra con una capacidad superior a 5 000 litros (2,2 te) y para todos los contenedores subterráneos y atrincherados, la válvula de desahogo debe disponer de tubos de ventilación. Estos deben tener el soporte adecuado y unos orificios de salida situados por lo menos a 1,8 m por encima de la parte superior del contenedor al que están ajustados y por lo menos a 3 m por encima del nivel del suelo. Los tubos de ventilación deben estar diseñados para garantizar que, si los productos de la descarga se inflaman, las llamas no afectarán al contenedor ni a ningún recipiente, tubería o equipo adyacente. Los tubos de ventilación pueden estar dotados de caperuzas para la lluvia no ajustadas y deben permitir el drenaje del agua. Para los contenedores grandes, el sistema de desahogo de la presión puede descargar en la red colectora de salida de una llama.

65. En los recipientes más pequeños se debe prever un ventilador o unos ventiladores suficientes para permitir la libre descarga de GLP desde la válvula de desahogo o desde cualquier cubierta protectora. Los ventiladores deben estar colocados de manera que no dispersen el GLP o la llama resultante sobre el revestimiento del contenedor.

**Conexiones de drenaje**

66. Las conexiones de drenaje deben tener un diámetro inferior a 50 mm y estar dotadas de dos válvulas de cierre en serie. La extensión de la tubería entre las válvulas debe ser inferior a 0,5 m, para reducir al mínimo el riesgo de una obstrucción simultánea de ambas válvulas por congelación del agua que pueda contener el GLP. La tubería que desciende de la segunda válvula no debe descargar por debajo del contenedor. La segunda válvula y la tubería deben tener un soporte y una firmeza suficientes para impedir los daños mecánicos o las rupturas por vibraciones o fuerzas de chorro. Las dos válvulas de los sistemas de drenaje deben tener un medio de operación que no se pueda retirar o trasladar fácilmente de la posición cerrada, salvo cuando se hace intencionadamente (véase el párrafo 195).

67. Como alternativa, un dispositivo satisfactorio de las tuberías de drenaje podría consistir en una válvula única y una espita o chapa de cierre ajustada del lado de la descarga de la válvula. Se deberían aplicar una tubería adicional y una segunda válvula, cuando sea necesario, de acuerdo con el párrafo 66.

68. Ninguna tubería de drenaje debe descargar a menos de 6 m de cualquier sistema de drenaje cuando, de lo contrario, se pudiera crear un riesgo.

**Medidores del volumen**

69. Cualquier dispositivo de medición que se base en la pérdida de GLP en la atmósfera debe tener una apertura no mayor de 1,4 mm de diámetro. Los dispositivos de medición deben indicar claramente cuándo el

## Cuadro 5. Clasificación de la zona

| *Factor* | | *Clasificación de la zona* |
|---|---|---|
| Depósito de almacenamiento | *a)* Dentro de un límite de 1,5 m en todas las direcciones desde el orificio de descarga de los indicadores fijos del nivel del líquido, indicadores de inmersión o giratorios, aperturas para llenar | Zona 1 |
| | *b)* Hasta 1,5 m por encima del nivel del suelo y dentro de los límites de las distancias establecidas para una fuente fija de ignición en la columna a del cuadro 2 | Zona 2 |
| Descarga de la válvula de seguridad | *a)* Sin una vía directa de descarga | No se debe instalar ningún equipo eléctrico fijo |
| | *b)* A una distancia de 1,5 m en todas las demás direcciones desde el punto de descarga | Zona 1 |
| | *c)* A más de 1,5 m, pero dentro de un límite de 4,5 m o la distancia de separación indicada en la columna a del cuadro 2 de tratarse de recipientes con una capacidad que no exceda de 2 500 litros, en todas las direcciones desde el punto de descarga | Zona 2 |
| Carga y descarga de la cisterna | *a)* Dentro de un límite de 1,5 m en todas las direcciones desde un punto donde las conexiones se hagan con regularidad o estén desconectadas de la transferencia de un producto | Zona 1 |
| | *b)* A más distancia de 1,5 m, pero dentro de un límite de 4,5 m, o a la distancia de separación indicada en la columna a del cuadro 2 en el caso de depósitos con una capacidad que no exceda de 2 500 litros, desde el punto de conexión o desconexión | Zona 2 |
| Bombas, compresores y vaporizadores distintos de los de activado directo: | | |
| *a)* Fuera al aire libre, al nivel o por encima del nivel del suelo | *a)* Dentro de un límite de 1,5 m en todas las direcciones | Zona 1 |
| | *b)* A más de 1,5 m, pero dentro de un límite de 4,5 m en todas las direcciones o a la distancia de separación indicada en la columna a del cuadro 2 en el caso de depósitos cuya capacidad no exceda de 2 500 litros | Zona 2 |
| *Nota:* Cuando existe una norma elevada de mantenimiento de las bombas y de los obturadores de las bombas en la zona situada dentro de 1,5 m en todas las direcciones desde la bomba, se puede clasificar como zona 2. | | |
| *b)* Emplazamiento interior con una ventilación adecuada | Todo el recinto y cualquier recinto adyacente no separado por un tabique hermético | Zona 1 |

*Notas*

1. Cuando una zona se clasifica con respecto a más de un factor, debe prevalecer la clasificación más alta.
2. Cualquier pozo, foso o depresión situado dentro de una zona 1 o de una zona 2 debe ser considerado como una zona 1 a todos los efectos.
3. La expresión «al exterior, al aire libre» incluye las bombas, los compresores y los vaporizadores que están protegidos por un toldo.

contenedor ha alcanzado su capacidad máxima normal. No se deben utilizar visores para medir el nivel del líquido en los contenedores de almacenamiento de GLP, salvo en aplicaciones especiales, por ejemplo los aparatos de ensayo medidores de GLP.

### Válvulas

70. Todas las conexiones para líquidos y vapores de los contenedores deben estar dotadas de una válvula de cierre, de preferencia ignífuga, salvo en lo que respecta a las válvulas de desahogo y cuando la conexión a través del revestimiento de la cisterna no tiene un diámetro superior a 1,4 mm. La válvula debe estar colocada lo más cerca posible del contenedor. Sin embargo, cuando no hay junturas mecánicas entre la aleta de la válvula de cierre y el contenedor y las tuberías interpuestas están diseñadas, construidas y puestas a prueba de conformidad con el código de diseño del contenedor, la válvula de cierre puede colocarse en el extremo inferior de la extensión de la tubería. Todas las conexiones de un contenedor que tienen un diámetro superior a 3 mm para líquidos y a 8 mm para vapores deben disponer de una válvula de cierre de emergencia, por ejemplo de una válvula para cortar el flujo excesivo, una válvula de retención o una válvula de emergencia teleaccionada.

71. Las válvulas de emergencia teleaccionadas que pueden ser utilizadas a mano deben formar parte de todas las tuberías que tengan un diámetro interior superior a los 19 mm y que transporten líquidos si:

*a)* se suministra GLP para una actividad que requiere conexiones y desconexiones frecuentes, por ejemplo el llenado de un tanque, el llenado de una bombona; o

*b)* la actividad se lleva a cabo en lugares a los que tiene acceso el público en general o cerca de los cuales es probable que se encuentre un número importante de personas no conocedoras de los procedimientos de emergencia concretos, y cuyo número y emplazamiento harían difícil una evacuación rápida, por ejemplo distribución automatizada de combustible; o

*c)* el contenedor tiene una capacidad de 225 000 litros (100 te) de agua o superior.

### Bombas

72. Las bombas no deben estar situadas por debajo de un contenedor de GLP. Deben estar instaladas firmemente y emplazadas de conformidad con el cuadro 5. Las bombas de compresión mecánica deben disponer de un conducto de derivación o de otra protección adecuada contra la presión excesiva.

### Compresores

73. Los compresores de vapor deben instalarse de preferencia al aire libre en un lugar bien ventilado situado por lo menos a 4,5 m del contenedor de GLP, los edificios y los límites. Si se instalan en un edificio, éste debe estar construido de material no combustible, tener un tejado ligero y una buena ventilación natural, en particular en el nivel inferior. El edificio no debe utilizarse para ningún otro fin que el de compresión y distribución del GLP y otros gases. Los compresores deben tener también por lo menos:

*a)* un conmutador de corte de alta presión o dispositivo análogo, del lado de la descarga del compresor;

*b)* un medio de prevenir que el GLP penetre en el compresor; por ejemplo, una marmita colectora con un sensor del nivel del líquido.

## Tuberías

74. Las tuberías deben estar adecuadamente diseñadas y construidas teniendo debidamente en cuenta que han de prestar servicio a bajas temperaturas. Los materiales empleados deben ser adecuados para su utilización con GLP. En general, se deben usar tuberías de acero, pero para los conductos del vapor se pueden utilizar tuberías de cobre macizo. Cuando se empleen tuberías de cobre, se deben tener presentes los riesgos potenciales resultantes del endurecimiento del material. No se deben utilizar tuberías de hierro fundido. Las tuberías que transportan vapor de propano deben construirse con materiales adecuados para ser utilizados a temperaturas de hasta –20 °C. Cuando estas tuberías pueden estar sometidas a un flujo de dos fases, por ejemplo en los sistemas de llama y apagado, pueden resultar apropiadas temperaturas previstas más bajas.

75. En el documento LPGITA CoP Núm. 22 figuran consejos detallados sobre el sistema de tuberías que se ha de utilizar con el GLP. Todas las tuberías de metal con un diámetro interior mayor de 50 mm, todas las tuberías conectadas con recipientes a presión llenos y todas las tuberías que transportan líquido deben estar concebidas y construidas de manera que se ajusten a una norma aceptable, como la BS 3351 o ANSI B31.3.

76. Las junturas de las tuberías se deben reducir a un mínimo. Las tuberías con un diámetro exterior mayor de 50 mm deben disponer de junturas fundidas o de junturas fundidas embridadas, salvo cuando están conectadas con un equipo ajustado con conexiones enroscadas. Las tuberías con un diámetro de 50 mm o menor pueden tener junturas enroscadas. Cuando una tubería tiene junturas enroscadas que pueden estar sometidas a vibraciones, se debe considerar la conveniencia de afianzarlas soldándolas con el fin de impedir que se suelten. Los componentes de las junturas para conexiones enroscadas y las roscas de las junturas deben ser adecuadas para su utilización con GLP.

77. Para impedir la acumulación de la electricidad estática, las tuberías de metal deben ser eléctricamente ininterrumpidas con el fin de que las resistencias a tierra de la instalación no excedan de $10^6$ ohmios. En la práctica, un valor de menos de 100 ohmios es fácilmente alcanzable y es poco probable que se deteriore con el tiempo hasta llegar a un nivel superior a $10^6$ ohmios, a menos que la planta esté sometida a una fuerte corrosión. Para mayor información, consúltese BS 5958: Parte 1: 1980.

78. Las tuberías deben tener un tamaño tal y estar orientadas de manera que el contenido de la tubería se limite al mínimo, con el fin de reducir el riesgo potencial. El camino elegido debe reducir a un mínimo la posibilidad de daños físicos, particularmente de los vehículos, pero cuando se prevean esos daños convendrá contar con barreras protectoras, bolardos, etcétera. Es preferible que las tuberías estén tendidas sobre el suelo y que se las aleje o proteja de un calor o frío excesivo. Se debe evitar que las tuberías que contienen GLP o vapor a una presión manométrica superior a los 37 mbar pasen por los edificios. Cuando esto no sea razonablemente factible, las tuberías situadas dentro de un edificio deben estar en lugares bien ventilados y protegidos de los daños físicos. Se debe tratar de reducir a un mínimo la longitud de las tuberías dentro del edificio.

**Tuberías subterráneas**

79. Cuando las tuberías que transportan líquido se instalan debajo del suelo:

*a)* su diseño debe prever cualquier carga adicional o limitación impuesta por el rellenado o el emplazamiento subterráneo;

*b)* se debe garantizar la protección contra la corrosión siempre que sea necesario, por ejemplo por medio de una cinta patentada e impregnada de cera, cubriéndola con brea o betún o por medio de la protección catódica. Se debe solicitar el asesoramiento de especialistas;

*c)* las tuberías deben tenderse, con los soportes adecuados, en una fosa abierta y poco profunda recubierta de cemento o mampostería y con cubiertas de rejilla abiertas, siempre que sea necesario, para permitir el paso seguro de los peatones;

*d)* el foso debe estar rellenado de un material inerte y no corrosivo sin partículas abrasivas, que puedan causar daños a la protección contra la corrosión. (Véase el párrafo 188 para asesoramiento sobre los requisitos de mantenimiento);

*e)* se debe proporcionar protección en forma de planchas o cubiertas que soporten la carga para las secciones por encima de las cuales hay circulación o cuando puedan estar sometidas a cargas superpuestas;

*f)* las junturas de todas las tuberías subterráneas deben estar soldadas;

*g)* otra posibilidad de tendido de una tubería que transporta líquido en una fosa de cemento o mampostería puede consistir en que la tubería se tienda dentro de otra tubería exterior. La tubería exterior debe estar cerrada con respecto a la tubería interior por ambos extremos, y el espacio entre ellas se debe supervisar para detectar escapes, normalmente por medio del registro de un cambio de presión. El manguito exterior debe terminar encima del suelo o en un pozo de inspección adecuado;

*h)* ambos extremos de la sección subterránea deben estar dotados de válvulas de aislamiento;

*i)* el itinerario del tendido de las tuberías debe estar registrado y, cuando sea factible, marcado de manera permanente;

*j)* las tuberías que transportan líquidos inertes o inflamables pueden estar tendidas en la misma fosa, pero no así las que contienen materiales o vapor corrosivos o tóxicos;

*k)* se recomienda que los cables eléctricos no se tiendan en la misma fosa que las tuberías que transportan GLP. Los cables eléctricos pueden tenderse en la misma fosa si están protegidos por una tubería o manga exterior.

80. Cabe utilizar tuberías de polietileno adecuado (PE) para transportar vapor de GLP y mezclas de GLP/aire. Las tuberías de PE deben estar enterradas en el suelo, pero cuando en los extremos salen por encima de la superficie, deben ser lo más cortas posibles y no superar nunca los 2 m. Deben estar también protegidas contra la luz ultravioleta y los daños mecánicos, por ejemplo con un revestimiento. Otra solución consiste en que se pueda efectuar el paso a tuberías de metal por medio de unos ajustes adecuados por debajo de tierra.

81. Las tuberías que transportan vapor de GLP pueden estar enterradas en una excavación abierta llena de un material que no sea corrosivo. Las tuberías de metal deben estar protegidas contra la corrosión, por ejemplo utilizando una cinta adecuadamente impregnada de cera, sobreenvolturas de alquitrán/asfalto o una protección catódica. El material de terraplenado de las tuberías de metal no debe contener partículas abrasivas, que podrían dañar la capa protectora.

**Válvulas hidrostáticas de seguridad**

82. Las tuberías en que pueda quedar retenido GLP líquido, por ejemplo entre las válvulas de cierre automático, deben estar protegidas contra la presión excesiva mediante la incorporación de válvulas hidrostáticas de seguridad. Si esos dispositivos descargan en la atmósfera, la descarga debe efectuarse al aire libre y no poner en peligro a personas o bienes. Siempre que sea posible, los dispositivos no deben estar emplazados debajo del recipiente. Las válvulas hidrostáticas de seguridad colocadas debajo de los recipientes deben estar emplazadas de manera que el GLP que se escape no vaya dirigido contra la superficie del recipiente o las vías de acceso adyacentes. En las refinerías de petróleo y grandes instalaciones análogas se puede recurrir a otros dispositivos para prevenir la presión excesiva de la tuberías.

**Conexiones flexibles**

83. Las mangueras que transportan GLP deben ajustarse a la norma BS 4089. Deben utilizarse sólo cuando sea necesario y tan cortas como sea razonablemente posible. Cuando se utilizan conexiones flexibles para transportar GLP líquido, se debe instalar una válvula hidrostática de seguridad para que la presión interna no sea superior a la presión prevista de la manguera o a la presión de trabajo de la tubería fija si ésta última es inferior. (Véase el párrafo 152 para obtener orientación sobre las mangueras utilizadas para carga y descarga.)

84. En las tuberías que transportan GLP líquido a las que están conectadas mangueras se deben instalar dispositivos de aislamiento de urgencia, como válvulas de retención, válvulas para impedir el exceso del flujo o válvulas de emergencia dirigidas a distancia, para impedir la descarga prolongada de GLP, si se produjera un fallo de la manguera.

**Soportes de los recipientes y las tuberías**

*Soportes de los recipientes y cisternas*

85. El diseño de los soportes debe basarse en las recomendaciones contenidas en el código con arreglo al cual se construye el depósito o recipiente. Los soportes deben permitir el movimiento del depósito o recipiente debido a cambios de temperatura y deben estar diseñados de manera que impidan o drenen cualquier acumulación de agua. Los soportes de los depósitos horizontales deben estar emplazados de manera que permitan movimientos y desviaciones mínimos del cuerpo del depósito. En circunstancias especiales pueden requerirse soportes adicionales.

86. Los depósitos deben estar instalados adecuadamente sobre cimientos firmes y apoyados en soportes de hormigón, mampostería o acero estructural. Los soportes (con exclusión de unos pies de 460 mm o menos de altura, las bases o los zócalos de los depósitos verticales) deben estar construidos o protegidos de manera que resistan al incendio por lo menos durante dos horas.

87. Cuando se utilizan pilares como parte del soporte de los depósitos o recipientes horizontales con una capacidad superior a 5 000 litros (2,2 te), se deben tomar disposiciones para fijar el depósito por un extremo, dejando al otro la posibilidad de moverse. El extremo fijado debe ser aquel al que están conectadas las tuberías principales del líquido y del vapor. Las bases deben normalmente soldarse al cuerpo del depósito. Cuando las bases no están soldadas al depósito, debe darse a su soporte una forma que se ajuste al cuerpo del depósito y estar dotado de atenuadores para impedir que se dañe o debilite el cuerpo del depósito.

88. Los depósitos verticales deben estar apoyados en una estructura abierta que permita una buena ventilación natural bajo el depósito y que proporcione seguridad contra explosiones. Si se emplea un zócalo cilíndrico como soporte del depósito, las tuberías de éste, situadas

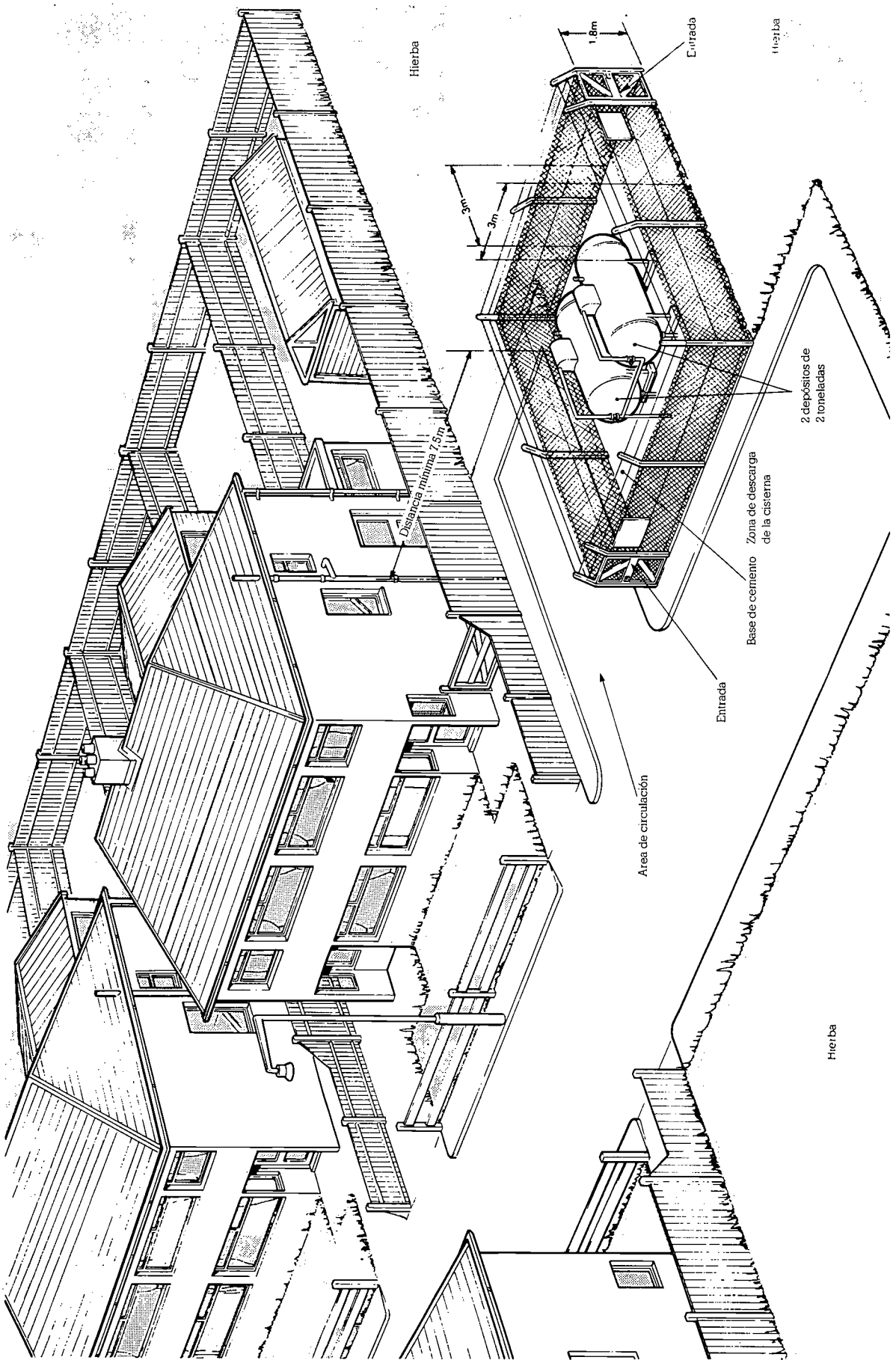



**Figura 8. Instalación de suministro de gas a las viviendas con contador**

en el interior del zócalo, deben estar soldadas o disponer de junturas con bridas soldadas.

*Soportes de la tubería*

89. Los soportes deben estar adecuadamente diseñados, espaciados y fijados para adecuarse a la configuración de la tubería y soportar las fuerzas de fricción de ancoraje y guía.

## Vaporizadores

### Consideraciones generales

90. Los vaporizadores pueden ser calentados con vapor a baja presión, con agua caliente, eléctricamente o por caldeo de gas directo. Deben tener una capacidad suficiente para evaporizar GLP a la toma de vapor máxima requerida de la instalación. Si se trata de butano, se deben adoptar precauciones contra la acumulación de condensación en la tubería de descarga del vapor. Por tal razón, se pueden requerir el aislamiento y el rastreo del calor de la tubería de descarga del vapor mediante la dotación de cámaras de condensado capaces de contener la cantidad que es probable se condense durante una parada de la planta. Con los vaporizadores calentados con agua caliente, se puede añadir un anticongelante para impedir que el agua se congele.

91. Los vaporizadores deben estar diseñados, fabricados y puestos a prueba de conformidad con un código apropiado para los depósitos de presión, por ejemplo el BS 5500.

92. No se deberían instalar serpentines de calefacción dentro de un depósito de almacenamiento para actuar como vaporizadores.

93. Si ya no figuran entre los requisitos de la norma de fabricación, los datos que se indican a continuación deben figurar en el vaporizador o incluirse en la documentación de que ya se dispone:

*a)* el nombre del fabricante y el número de serie del vaporizador;

*b)* la especificación con arreglo a la cual se ha fabricado;

*c)* la presión máxima para un funcionamiento seguro;

*d)* las temperaturas máxima y mínima para un funcionamiento seguro;

e) el año de fabricación.

94. Los vaporizadores se deben instalar en un lugar bien ventilado, de preferencia al aire libre y no dentro o cerca de ningún pozo de presión. Deben estar separados de los edificios importantes, los límites o las tuberías de las propiedades lindantes, como se indica en el cuadro 6. El suelo situado debajo de los vaporizadores debe estar cubierto de hormigón y en pendiente, con el fin de que cualquier escape de GLP se deslice hacia un lugar seguro lejos del vaporizador y de cualquier depósito de GLP.

95. Los vaporizadores de caldeo directo y eléctricos protegidos contra las explosiones no se deben instalar más cerca de los depósitos de GLP de las distancias de separación indicadas en la columna a del cuadro 2 con respecto a fuentes de ignición.

96. Los vaporizadores distintos de los de caldeo directo o de los eléctricos protegidos contra las explosiones deben instalarse por lo menos a 1,5 m del depósito de GLP más próximo.

97. Si un vaporizador se instala en un edificio, éste debe estar construido con materiales no combustibles y tener un techo de poco peso para garantizar el desahogo de una eventual explosión, así como una buena ventilación natural, particularmente en el nivel inferior. El edificio debe utilizarse para la evaporación y distribución de GLP.

## Cuadro 6. Distancia de separación de los vaporizadores

| Capacidad del vaporizador | | Distancia mínima de los vaporizadores con respecto al edificio importante más cercano o al límite de la propiedad colindante |
|---|---|---|
| Kg/h | Libra/h | Metros |
| Hasta 36 | Hasta 80 | 3 |
| >36–227 | >80–500 | 7,5 |
| Más de 227 | Más de 500 | 15 |

98. Las válvulas de cierre se deben instalar en las conexiones del líquido y del vapor entre el depósito de almacenamiento de GLP y el vaporizador.

*Conexiones del drenaje*

99. Los sistemas del vaporizador deben estar dotados de un conducto de drenaje para facilitar la retirada segura de cualquier producto pesado que pueda acumularse en la parte del GLP del sistema. Las conexiones del drenaje acopladas a los vaporizadores deben ser de la misma calidad que la requerida para los depósitos voluminosos (párrafo 66).

*Alivio de la presión*

100. Los vaporizadores deben disponer de válvulas para disminuir la presión directamente conectadas al espacio del vapor y montadas para descargar y alcanzar la situación de corriente plena, de conformidad con la especificación del diseño del vaporizador. Las válvulas de seguridad deben descargar directamente al aire libre, lejos del vaporizador o de cualquier depósito de GLP adyacente, o a un sistema colector de combustión de gases sobrantes. La capacidad de desahogo debe ser suficiente para proteger al vaporizador de la presión excesiva, impedir que quede rodeado por el fuego o que alcance el consumo calorífico máximo del sistema de calefacción.

*Control del nivel del líquido*

101. Los vaporizadores deben estar dotados de medios automáticos adecuados para impedir que el GLP líquido pase a través del vaporizador hasta las tuberías de descarga del gas en cualquier condición de funcionamiento.

*Control de la temperatura máxima*

102. Los vaporizadores deben estar dotados de un dispositivo automático para impedir el calentamiento excesivo.

## Seguridad

103. La instalación, sus accesorios y conexiones deben estar protegidos para reducir al mínimo las intromisiones deliberadas o por negligencia.

104. Los depósitos, vaporizadores y bombas deben estar instalados dentro de una valla de seguridad. Esa valla debe ser de 1,8 m de alto por lo menos y estar colocada a una distancia no inferior a 1,5 m de cualquier depósito o vaporizador. El recinto debe contar con dos puertas para facilitar un medio rápido de escape, pero sin que estén la una adyacente a la otra. Deben abrirse hacia fuera, no ser de cierre automático y no estar bloqueadas cuando el recinto está ocupado. En los párrafos 106 y 108 se indican algunas excepciones a estas pautas generales.

105. La valla de seguridad debe ser de un material que no se oponga sustancialmente a la ventilación natural de la instalación. Una valla de una red robusta de alambre de tipo industrial, por ejemplo recuadros soldados de malla de 12 hilos × 52 mm × 52 mm, o una valla de cadena de eslabones de 12 hilos fijada a soportes de cemento sería suficiente. Las vallas de madera, particularmente de madera de fibra retorcida o alisada, no deben utilizarse, puesto que son combustibles y pueden impedir la ventilación natural.

106. Los depósitos a los que el público puede tener un acceso no controlado, como los que proveen de suministro a bloques de viviendas o los modernos recintos industriales de disposición individual, deben disponer de una valla de seguridad. Para los depósitos con una capacidad de hasta 9 000 litros (4 te) situados en este tipo de instalación, la valla debe estar situada por lo menos a 3 m del depósito. Para los depósitos con una capacidad comprendida entre los 2 500 litros (1,1 te) y 9 000 litros (4 te) se deben tomar disposiciones destinadas a controlar la acumulación de materiales combustibles y el emplazamiento de las fuentes de ignición dentro de la parte restante de la zona que está situada en el interior de la distancia de separación y fuera de la valla de seguridad. Se debe solicitar el asesoramiento de las autoridades encargadas del cumplimiento con respecto al emplazamiento de la valla de seguridad en relación con los depósitos de más de 9 000 litros de capacidad (4 te).

107. En los emplazamientos industriales en que existe una vigilancia de la instalación, una valla que rodea el perímetro del emplazamiento puede ser suficiente para la seguridad. Sin embargo, cuando la instalación está situada a distancia del emplazamiento, y sólo sometida a escasa vigilancia, y particularmente cuando se sabe que en el emplazamiento se penetra sin permiso, la instalación debe estar encerrada dentro de su propia valla de seguridad para complementar la del perímetro.

108. Puede renunciarse al requisito de una valla de seguridad para los depósitos de menos de 9 000 litros de

capacidad (4 te), a condición de que se impida el acceso a las válvulas y accesorios, por medio de una cubierta bloqueable sólida o una valla de alambre de malla de claros anchos colocada entre los pilares de soporte. Cuando se dispone de una cubierta bloqueable, se debe mantener cerrada todo el tiempo, salvo mientras se esté llenando el depósito. La llave de la cubierta debe poderse localizar rápidamente en casos de emergencia. Esta mitigación de la norma no se debe aplicar cuando el público tenga libertad de acceso.

**Protección contra los daños producidos por el tránsito**

109. Debe evitarse el emplazamiento de los depósitos y sus conexiones, por ejemplo las tuberías, en zonas utilizadas para el tráfico motorizado. Cuando hace falta protección, se deben instalar barreras contrachoques sólidas o postes horizontales. Es poco probable que la valla de seguridad proporcione una protección suficiente por sí sola, como tampoco lo proporciona la restricción del tráfico mediante marcas grabadas en el suelo, avisos, etc.

110. Los depósitos subterráneos deben estar protegidos contra los efectos de la carga a que el tráfico somete al suelo delimitando con barreras la zona situada encima de los depósitos o dotando a éstos de cubiertas que soporten la carga. Las tuberías subterráneas deben estar protegidas de manera análoga, si fuera necesario.

111. Los vehículos de motor de gasolina y otros vehículos sometidos al control del ocupante del emplazamiento deben aparcarse por lo menos a 6 m, o a la distancia de separación indicada en la columna a del cuadro 2, si ésta es menor, de los depósitos de GLP. Los vehículos de motor diesel sometidos al control del ocupante pueden aparcarse a una distancia de hasta 3 m de los depósitos, con la condición de que no obstaculicen la ventilación. Los vehículos no sometidos al control del emplazamiento, es decir, los que pertenecen a miembros del público, deben aparcarse a una distancia no inferior a la de separación indicada en la columna a del cuadro 2.

## Marcado e identificación de la instalación y de su contenido

112. El objetivo de cualquier marcado e identificación es el siguiente:

*a)* señalar el carácter de riesgo de accidente del contenido;

*b)* evitar la confusión, durante el funcionamiento normal o en casos de emergencia, que podría dar origen a medidas incorrectas capaces de causar un incidente o de agravarlo.

Este marcado es complementario al indicado en los párrafos 57 y 93.

113. Todas las marcas e identificaciones deben ser claras y duraderas. La información debe figurar en placas o rótulos, etc., fijados con firmeza a la parte con la que están relacionados o marcados directamente sobre ella. Las etiquetas de papel no son satisfactorias.

114. El estampado directo de datos sobre cualquier parte sólo se debe realizar si no menoscaba su integridad y si puede aguantar el desgaste y posiblemente una capa de pintura por encima sin dejar de ser legible.

115. El depósito o recipiente debe estar claramente marcado con las palabras «gas licuado de petróleo» o el nombre del material almacenado, cuando pueda haber confusión. Conviene añadir también las palabras «altamente inflamable» o un signo gráfico que se ajuste al reglamento de señales de seguridad de 1980.

116. Las tuberías deben estar marcadas o pintadas según el código de colores, o ambas cosas, para indicar el contenido que transportan, y si el contenido es líquido o vapor. La codificación de colores, siempre que proceda, debe ajustarse a la norma BS 1710.

**Válvulas y conexiones**

117. El manejo de todas las válvulas de aislamiento manuales debe ser claro. Los puntos de funcionamiento de las válvulas de aislamiento manejadas a distancia y los sistemas fijos inundados en agua de funcionamiento manual deben estar claramente identificados y su modo de funcionamiento marcado.

118. Cuando hay conexiones de carga y descarga de butano y propano adyacentes, éstas deben estar claramente indicadas.

## Clasificación de zona con riesgo de accidente respecto del equipo eléctrico

119. El equipo eléctrico debe instalarse exclusivamente en una zona segura alejada de los depósitos y el equipo de GLP. Cuando esto no resulta razonablemente factible, la zona en torno al depósito de GLP y al equipo se puede subdividir según el grado de probabilidad de que

## Cuadro 7. Resumen de los requisitos de protección contra incendios

| *Capacidad de la instalación* | | *Precauciones contra incendios* | *Párrafo* |
|---|---|---|---|
| *Litros* | *Toneladas* | | |
| 150-2 500<br>Doméstico | < 1,1 | Abastecimiento de agua para el cuerpo de bomberos utilizada a 100 m de distancia | 127<br>131 |
| 150-2 500<br>Uso comercial e industrial | < 1,1 | Abastecimiento de agua para el cuerpo de bomberos utilizada a 100 m de distancia<br>Carretel de manguera de 19 mm o 2 extintores de 9 litros de agua<br>Dos extintores de 9 kg de polvo seco (no emplazamientos comerciales) | 127, 131<br>143<br>144 |
| > 2 500-< 56 250 | > 1,1-< 25 | Abastecimiento de agua para el cuerpo de bomberos utilizada a 100 m de distancia<br>Carretel de manguera de 19 mm<br>Dos extintores de 9 kg de polvo seco | 127, 133<br>143<br>144 |
| Capacidad del depósito de descarga de líquido > 15 750 | > 7 | Abastecimiento de agua<br>Se debe considerar la conveniencia de proporcionar un medio de aplicar agua de refrigeración a los recipientes<br>Carretel de manguera de 19 mm<br>Dos extintores de 9 kg de polvo seco | 127<br>134<br>143<br>144 |
| 56 250-< 112 500 | 25 te-< 50 te | Abastecimiento de agua<br>Lanzas hidráulicas fijas y/o portátiles<br>Carretel de manguera de 19 mm<br>Dos extintores de 9 kg de polvo seco | 127<br>135<br>143<br>144 |
| ≥ 112 500<br>(50 te) | ≥ 50 te | Abastecimiento de agua<br>Rociadores fijos automáticos<br>Carretel de manguera de 19 mm<br>Dos extintores de 9 kg de polvo seco | 127<br>136<br>143<br>144 |
| Llenado del recipiente | | Abastecimiento de agua<br>Rociadores fijos automáticos<br>Carretel de manguera de 19 mm<br>Dos extintores de 9 kg de polvo seco | 127<br>137<br>143<br>144 |
| Camión cisterna llenado/suministro más de dos veces por semana | | Abastecimiento de agua<br>Protección adicional contra incendios<br>Carretel de manguera de 19 mm<br>Dos extintores de 9 kg de polvo seco | 127<br>139<br>143<br>144 |

puedan producirse concentraciones inflamables de vapor, y el equipo eléctrico debe estar adecuadamente protegido en función de su emplazamiento. Las subdivisiones se definen como:

Zona 0 Zona en que está constantemente presente una mezcla de gas/aire inflamable, o está presente durante largos períodos.

Zona 1 Zona en que puede producirse una mezcla inflamable de gas/aire en condiciones de funcionamiento normal.

Zona 2 Zona en que sólo puede producirse una mezcla inflamable de gas/aire en condiciones anormales y no en una situación de funcionamiento normal.

En la norma BS 5345 puede hallarse una explicación más completa del método de clasificación, y en el folleto HS(G)22 sobre seguridad e higiene figuran pautas para elegir el equipo eléctrico más adecuado para esas zonas.

120. Si hace falta instalar un equipo eléctrico cerca de depósitos de GLP, ese equipo debe atenerse a las normas y distancias de separación indicadas en el cuadro 5.

121. Normalmente los depósitos de GLP no necesitan una protección contra rayos.

## Precauciones contra incendios

### Consideraciones generales

122. La posibilidad de que se produzca un incendio grave se puede reducir al mínimo por medio de un diseño y una disposición adecuados de la planta, ingeniería correcta, buenas prácticas de funcionamiento e instrucción y capacitación adecuadas del personal en actividades y medidas de rutina que se han de aplicar en casos de emergencia. Un diseño y una disposición correctos de la planta deben incluir la consideración de los suministros de agua, el equipo de protección contra incendios, la lucha contra incendios, los medios de acceso a los aparatos y dispositivos de los bomberos, la protección de los bomberos y disposiciones para garantizar que se dé rápidamente la alarma a los bomberos de producirse un incendio.

123. Con arreglo a la ley sobre los servicios contra incendios de 1947, incumbe al servicio local contra incendios la responsabilidad de adoptar disposiciones para luchar contra éstos y de equipar y mantener a un cuerpo de bomberos para atender a todas las necesidades normales. La autoridad local encargada de los bomberos puede adoptar disposiciones con equipos antiincendios de las fábricas para proporcionar asistencia, pero el cuerpo de bomberos local debe asumir el control de las operaciones al llegar al lugar del incendio. Se debe llamar a los bomberos cada vez que se produzca un incendio que pueda amenazar el almacenamiento de GLP.

124. Convendrá consultar al servicio de lucha contra incendios en una etapa inicial al proyectarse el almacenamiento de GLP. Se debe consultar a las autoridades encargadas del cumplimiento (véase el glosario) cuando se requiera una orientación adicional sobre la lucha contra incendios y los servicios de protección que no figuren en este documento.

### Protección contra incendios

125. Los recipientes utilizados para almacenar GLP amenazados por un incendio deben mantenerse suficientemente fríos para impedir la rotura del depósito. Esta protección se puede conseguir descargando agua sobre los depósitos con un ritmo que permita mantener una capa suficiente de agua sobre la superficie de los recipientes o depósitos y los soportes.

126. Los depósitos se pueden también proteger contra el calor radiante enterrándolos en el suelo, atrincherándolos o por otros métodos, como la aplicación de revestimientos aislantes, que proporcionan un nivel equivalente de protección al de los sistemas adecuados de inundación en agua (es decir, lanzas hidráulicas o aspersores fijos). Cuando se emplean estos métodos, no es necesario suministrar agua para la protección contra incendios, salvo para las bocas de inspección no protegidas o los depósitos subterráneos o atrincherados. No obstante, puede ser necesaria la protección de agua en las estaciones de descarga de las cisternas y en cualquier planta de tratamiento que contenga GLP.

*Suministro de agua*

127. En todas las instalaciones debe haber un abastecimiento suficiente de agua que se utilizará para la protección contra incendios en caso de emergencia. Para proporcionar una protección adecuada a un depósito amenazado por un incendio, el ritmo de entrada debe ser de 9,8 litros/$m^2$/min sobre toda la superficie del

depósito durante por lo menos sesenta minutos*. Puede resultar necesario aumentar la capacidad del suministro cuando no se dispone de ningún abastecimiento adicional de agua cerca de los locales. Si el agua se suministra a través de una red de recirculación, el depósito de almacenamiento debe contener un suministro para treinta minutos sin recirculación. Se debe prestar atención especial a la posibilidad de que pueda haber una pérdida de energía en el emplazamiento y a las consecuencias que ello podría producir con respecto a los dispositivos de protección contra incendios.

128. Las bocas de riego *in situ* y los sistemas de mojado fijos deben estar diseñados de manera que la corriente de agua pueda controlarse desde una posición segura y situada más allá de las distancias de separación indicadas en la columna a del cuadro 2. Para uso de los bomberos, se debe disponer de conexiones del abastecimiento de agua con sistemas fijos de mojado. Las conexiones deben estar situadas en un lugar seguro convenido con el cuerpo de bomberos.

129. Debe disponerse de un drenaje adecuado para eliminar el agua utilizada en la protección contra incendios y con fines de lucha contra incendios. Cuando sea necesario, se deben fijar interceptores de cierre hidráulico para impedir que el GLP penetre en los colectores y alcantarillas de aguas pluviales.

*Equipo de protección contra incendios*

130. La dotación de una protección contra incendios en instalaciones fijas depende de varias consideraciones, entre las que cabe mencionar la capacidad máxima de almacenamiento de la instalación, las dimensiones de los distintos depósitos o recipientes, el número de extracciones de las cisternas y si existe un gran riesgo de incendio en el lugar que pueda afectar a los depósitos o recipientes, por ejemplo en las plantas de llenado de bombonas de GLP. En los párrafos 131 a 141 se dan pautas sobre las normas relativas a la protección contra incendios que exigirán las autoridades encargadas de su cumplimiento. Esta orientación se resume en el cuadro 7. Dichas autoridades pueden exigir normas más estrictas de protección contra incendios cuando existen otros factores, tales como un aumento de los riesgos ajenos al lugar, el emplazamiento del abastecimiento de agua más cercano y el tiempo necesario para que los bomberos puedan llegar al lugar del siniestro.

* *The use of water sprays to protect fire engulfed LPG storage tanks.* Billinge, Moodie y Beckett. 5.º Simposio internacional. Prevención contra las pérdidas y promoción de la seguridad en las industrias de transformación. 1986.

*Instalaciones domésticas y pequeñas*

131. Las instalaciones domésticas y otras instalaciones comerciales o industriales pequeñas con depósitos de una capacidad no superior a los 2 500 litros (1,1 te) deben estar dotadas de un abastecimiento de agua suficiente para uso de los bomberos. Con respecto a estos locales, un abastecimiento de agua suficiente puede consistir en bocas de riego, estanques, canales o ríos. La fuente del abastecimiento debe ser fácilmente accesible y no debe estar por lo general situada a más de 100 m de los depósitos.

132. En instalaciones remotas donde la población que está cerca de los depósitos es reducida, lo que facilita la evacuación de la zona, puede ser aceptable que la fuente de abastecimiento de agua esté situada a más de 100 m de los depósitos o recipientes. En estos casos se ha de consultar a los bomberos. Se debe disponer de un plan completo de evacuación que han de conocer las personas residentes en las cercanías de la instalación.

*Instalaciones con un conjunto total de depósitos superior a los 2 500 litros (1,1 te), pero inferior a los 56 250 litros (25 te)*

133. Para las instalaciones de esta categoría, la protección contra incendios puede consistir exclusivamente en una fuente de abastecimiento de agua adecuada para uso de los bomberos, con excepción de los depósitos que exceden de 15 750 litros de capacidad (7 te) con salidas para líquidos. El nivel de protección contra incendios dependerá de que la instalación reúna las otras condiciones de esta nota de orientación. Cuando se haya decidido el nivel de protección, se debe también tomar en consideración la facilidad de evacuación de la zona circundante y el tiempo en que tardan en llegar los bomberos.

134. Con respecto a los depósitos con desagües para líquidos, cuando la dimensión del depósito supera los 15 750 litros (7 te) y los desagües no están dotados de válvulas de emergencia manejadas a distancia, se debe considerar la conveniencia de proporcionar un medio para aplicar agua de congelación a los depósitos. Este medio puede consistir en lanzas hidráulicas fijas o portátiles o cualquier otro sistema adecuado.

*Instalaciones con un total en los depósitos de 56 250 litros (25 te), pero inferior a 112 500 litros (50 te)*

135. En las grandes instalaciones con una capacidad total de 56 250 litros (25 te), pero inferior a 112 500 litros

(50 te), se debe prever la posibilidad de aplicar agua de refrigeración a los depósitos. Con este fin se pueden utilizar lanzas hidráulicas portátiles o fijas u otros medios adecuados.

*Instalaciones con una capacidad total en sus depósitos de 112 500 litros (equivalentes a 50 toneladas) o más*

136. En las grandes instalaciones con capacidades totales de 112 500 litros (50 te) o más se debe dotar a los depósitos de sistemas de dispersión fijos plenamente automatizados, capaces de detectar un incendio que amenace a los depósitos y de hacer funcionar los rociadores sin intervención manual. Un sistema de detección de incendios que dependa exclusivamente de la captación de una presión excesiva en el depósito no es suficiente a estos efectos. En las refinerías y otras grandes instalaciones análogas donde existe una supervisión constante, pueden bastar unos rociadores de agua de manejo manual. En esas instalaciones puede no resultar necesario empapar simultáneamente todos los depósitos de almacenamiento y cabe prever medios que permitan el humedecimiento de depósitos o grupos de depósitos individuales. Se debe establecer un punto de funcionamiento manual remoto en un lugar seguro (véase el párrafo 128).

*Otras instalaciones que requieren protección contra incendios*

137. En los grandes depósitos, en las instalaciones para llenar los recipientes se deben montar sistemas de rociadores de agua fijos. Puede ser necesario un nivel semejante de protección en algunas plantas de llenado de aerosoles donde los depósitos puedan ser amenazados por un incendio que circunde la instalación de llenado o el almacén de aerosol. Los sistemas de rociado fijos no son necesarios cuando el GLP se distribuye automáticamente y se aplica el párrafo 71 o cuando sólo se llena un número pequeño de bombonas, por ejemplo para las carretillas de horquilla elevadora.

138. Las instalaciones cuyos depósitos tienen un total de 56 250 litros (25 te) o más deben estar dotadas de una nave para la descarga de camiones cisternas con el mismo nivel de protección contra incendios que los depósitos fijos.

139. En las instalaciones donde se efectúa una media de más de dos descargas de camiones cisternas a la semana, o donde se llenan de GLP más de dos camiones cisternas a la semana, tomando como base el consumo a lo largo de seis meses incluido el período invernal, se debe considerar la conveniencia de establecer una protección adicional contra incendios en la nave de carga y descarga.

140. Las grúas de pórtico de carga y descarga de los vagones de ferrocarril deben estar dotadas de rociadores de agua fijos o de una forma equivalente de protección contra incendios.

141. A los efectos de los párrafos 131 a 138, los depósitos individuales pueden considerarse aisladamente en los casos en que representan la suma de las distancias de separación indicadas en la columna a del cuadro 2 por separado.

**Equipo portátil de lucha contra incendios**

142. En los locales se debe disponer de un equipo portátil de lucha contra incendios suficiente y adecuado. Este equipo debe elegirse y emplazarse de manera que los incendios adyacentes a los depósitos se puedan extinguir y para impedir que el fuego se disperse o ponga en peligro la instalación de GLP. El equipo utilizado puede estar constituido por extintores de incendios o carreteles de mangueras o una combinación equivalente de ambos tipos. La elección, el tamaño, el emplazamiento y el mantenimiento de los extintores de incendios deben ajustarse a la norma BS 5306: Parte 3: 1980, y los carreteles de mangueras deben seleccionarse e instalarse de conformidad con la norma BS 5306: Parte 1: 1976.

143. Todas las instalaciones fijas de GLP deben estar dotadas de por lo menos un carretel de manguera de 19 mm. En las instalaciones pequeñas con depósitos de hasta 2 500 litros (1,1 te) cabe utilizar dos extintores de 9 litros de agua. En los locales domésticos no se requieren carreteles de mangueras ni extintores, debido a la falta de personal capacitado para utilizarlos.

144. Además de los requisitos indicados en los párrafos 142 y 143, se deben prever por lo menos dos extintores de incendios adecuados para extinguir un incendio de GLP (véase el párrafo 146). Normalmente resultarán adecuados extintores de polvo por lo menos de la categoría 223B (por ejemplo, con una capacidad de 9 kg). No es preciso prever extintores de polvo en las instalaciones domésticas y en pequeñas instalaciones comerciales donde es poco probable que alguien haya sido capacitado para luchar contra incendios de GLP.

### Acceso

145. Se debe prever el acceso a y en torno a la instalación para luchar contra los incendios, acceso que debe estar despejado en todo momento.

### Instrucción y capacitación para luchar contra los incendios

146. Las personas que frecuentan los locales donde se almacena GLP deben recibir instrucciones adecuadas y la capacitación apropiada a fin de entender las precauciones y las medidas de lucha que se han de tomar en caso de producirse un incendio o un escape de GLP. Deben recibir instrucción y capacitación adecuadas a sus responsabilidades para los casos de emergencia. Es necesario que las personas adiestradas para luchar contra incendios de GLP sepan que éstos no se deben normalmente extinguir a menos que se pueda aislar la fuente de GLP. En los locales comerciales e industriales se deben colocar anuncios visibles en los que se indiquen los procedimientos de emergencia cerca de la zona de almacenamiento de GLP. En las instalaciones domésticas se deben facilitar instrucciones completas a los usuarios, incluidas las medidas que se han de adoptar en caso de emergencia.

## Instalaciones de carga y descarga

### Consideraciones generales

147. Se deben impartir instrucciones por escrito en las que se definan claramente las responsabilidades de todo el personal que participa en las actividades de carga y descarga.

148. Los niveles de dotación de personal para las operaciones de transferencia de GLP estarán determinados por el tamaño y la complejidad de cada instalación. Como norma general de seguridad, ese número no debe ser inferior a dos. Con respecto a muchas instalaciones, el personal estará normalmente constituido por el conductor del camión cisterna y un empleado de la instalación. En algunos casos, particularmente en instalaciones domésticas y pequeñas, esto puede resultar inaplicable, ya que sólo estará presente el conductor.

149. Salvo en los casos mencionados en el párrafo 148, un responsable de la instalación debe verificar que la cantidad y el tipo de GLP que se está transfiriendo sean adecuados para el depósito receptor. Conviene verificar los depósitos para comprobar el nivel al que están llenos antes de proceder a su carga, y también durante la carga, sirviéndose de medidores del contenido, cuando proceda. Se debe utilizar un dispositivo de nivel máximo para asegurarse de que no se producirá un llenado excesivo. Convendría verificar el peso de los camiones y vagones cisternas antes de que salgan del depósito para asegurarse de que no han sido llenados en exceso. En la norma BS 5355: 1976 se dan especificaciones sobre los porcentajes de llenado de GLP.

150. **El llenado excesivo puede tener consecuencias extremadamente graves, y se debe proceder a eliminar en forma inmediata y segura cualquier exceso de las cisternas o depósitos.**

151. El punto de transferencia, donde se efectúan las conexiones y desconexiones, debe estar emplazado en un lugar bien ventilado.

152. Las mangueras flexibles utilizadas para transvasar el GLP de los camiones y vagones cisternas a tuberías o depósitos fijos deben:

*a)* estar diseñadas y construidas de acuerdo con una norma apropiada, por ejemplo la BS 4089;

*b)* tener un medio de identificación;

*c)* ser examinadas cada vez que se vayan a utilizar para detectar eventuales torceduras y desgastes. Los accesorios de la manguera se deben examinar de manera análoga;

*d)* ser sometidas a una prueba hidráulica cada año;

e) ser verificadas con periodicidad para comprobar su continuidad eléctrica;

*f)* las pruebas de los apartados *d)* y e) deben ser objeto de registros escritos;

*g)* ser conservadas de manera que la manguera no sufra daños físicos o se vea negativamente afectada por el tiempo cuando no se utiliza o cuando se está transportando;

*h)* contar con medios de protección de los accesorios de sus extremos contra los daños o la entrada de material extraño;

*i)* cuando sea oportuno, han de estar protegidas contra los daños externos por un dispositivo de preenroscado u otro análogo;

*j)* ser sustituidas o reparadas cuando sufren daños o desgastes.

153. Las mangas de carga o mangueras flexibles en que el líquido pueda quedar atrapado entre válvulas de

cierre deben estar protegidas contra una presión excesiva causada por la expansión térmica del contenido, por ejemplo con válvulas hidrostáticas de seguridad o por medio de su diseño.

**Carga y descarga de los camiones cisternas**

154. Para reducir al mínimo el riesgo de un movimiento accidental, la cisterna debe situarse en un emplazamiento esencialmente nivelado durante la carga o la descarga. Las ruedas de los vehículos deben quedar calzadas o se debe utilizar cualquier otro medio para impedir el movimiento del vehículo antes de la carga y descarga. Las calzas deben retirarse sólo cuando haya quedado terminado el transvase. El suelo debajo de la cisterna debe estar drenado, bombeado o tener un gradiente reducido a un lugar seguro para impedir cualquier derrame de lo que queda debajo del vehículo o del flujo bajo cualquier depósito o tubería de la instalación fija.

155. La operación de carga y descarga sólo se debe realizar cuando puede hacerse con seguridad y, siempre que sea posible, se debe separar del movimiento restante del tráfico. Cuando es probable que circulen vehículos o peatones, quizás resulte necesario establecer barreras físicas para impedir que se acerquen al lugar donde se está efectuando el transvase.

156. Se debe estudiar la posibilidad de establecer un dispositivo de protección de la vía de acceso en todas las instalaciones con depósitos de una capacidad de 9 000 litros (4 te) o superior. Entre esos dispositivos, cabe mencionar los siguientes:

*a)* un conectador autoobturante de la vía de acceso conectado a la manguera flexible;

*b)* algún dispositivo para cerrar automáticamente las válvulas de aislamiento de emergencia en la planta fija y en la cisterna;

*c)* una barrera física enclavada o un sistema análogo en el vehículo o en la instalación fija;

*d)* un dispositivo para hacer funcionar en forma automática el sistema de frenos del vehículo con el fin de bloquear de inmediato la manguera de abastecimiento cuando se saca de su lugar normal de depósito, hasta que se la vuelva a colocar en su sitio;

*e)* una cuña de freno que se debe apartar para tener acceso a la derivación de llenado, que pone en funcionamiento el sistema de frenado.

157. Cuando está en marcha el motor de un vehículo durante la carga o descarga, normalmente para impulsar una bomba, se debe instalar un dispositivo de cierre del motor de urgencia para que el motor se pueda desconectar desde fuera de la cabina.

158. Los camiones cisternas deben estacionarse fuera de la carretera mientras están descargando y colocarse de manera que puedan retirarse con facilidad en caso de producirse una emergencia, si se puede hacer con seguridad. El emplazamiento del camión cisterna debe permitir al conductor ver la cisterna desde el depósito de almacenamiento. Cuando el conductor está en el depósito debe poder parar de inmediato el llenado en cuanto el depósito esté lleno.

159. En algunas instalaciones, por ejemplo en locales domésticos, quizás no sea posible estacionar el camión cisterna fuera de la carretera durante la descarga. Cuando así sucede, el camión cisterna no debe obstruir el paso y debe respetar el código de la circulación.

160. Las mangueras no deben atravesar una vía pública ni la calzada durante la descarga, a menos que no haya otro remedio y siempre que la seguridad del público no se ponga en peligro. En esos casos, antes y durante la descarga se deben colocar avisos, legibles a una distancia de 6 m, a ambos lados del lugar donde está la manguera con las indicaciones siguientes:

*a)* **Aviso: se está efectuando un transvase de gas licuado de petróleo; y**

*b)* **Se prohíbe fumar o llevar algo encendido,**

u otras palabras que tengan el mismo sentido.

161. Cualquier electricidad estática acumulada en un camión cisterna debe descargarse a tierra. La cisterna del camión debe estar eléctricamente unida a la instalación fija, antes de que se realice ninguna operación de transvase de GLP. La interconexión eléctrica debe desconectarse únicamente después de que se haya desconectado la conexión reguladora del líquido y, cuando se utilice, del vapor.

**Vagones cisternas de carga y descarga**

162. La operación de carga y descarga de los vagones cisternas debe separarse de cualquier otro tráfico ferroviario, por ejemplo efectuándose en una vía muerta. El punto de transvase debe estar emplazado en un lugar bien ventilado, situado por lo menos a 15 m de los edificios, límites, fuentes de ignición y cualquier depósito de almacenamiento que forme parte de la instalación fija.

163. Para reducir al mínimo el peligro de un movimiento accidental, la vía debe estar nivelada. Es aceptable un ligero gradiente descendente de menos de 1:250, a condición de que el emplazamiento esté alejado de la vía principal o, de tratarse de una vía muerta que termine con topes, hacia los topes.

164. Los vagones cisternas que contengan GLP no deben cambiar de vía sin control.

165. Se deben prever barreras físicas cuando exista la posibilidad de que un vagón cisterna pueda ser dañado por vehículos motorizados, por ejemplo cuando una vía muerta de ferrocarril está situada al lado de una carretera.

166. Se deben prever pasos con barrera y otros medios de aislamiento positivo para impedir que un tren pueda separarse por accidente mientras los vagones cisternas están conectados a la instalación fija. Entre los medios adecuados, se pueden mencionar los siguientes:

*a)* retirada de la locomotora;

*b)* retirada del cable de remolque o aislamiento del motor impulsor;

*c)* conexiones cerradas;

*d)* aplicación de frenos de mano de los vagones.

Se pueden suministrar dispositivos de bloqueo con las bombas para transvasar el producto, las válvulas de aislamiento, etc., para asegurarse de que el tren está correctamente emplazado antes de que empiece el transvase. Como seguridad adicional se pueden proporcionar señales.

167. Se debe prever un sistema de trabajo para asegurarse de que los vagones cisternas no se desplazan sin el conocimiento y la aprobación del personal de la planta encargado de las operaciones de transvase del GLP. Los movimientos de tráfico a y desde el punto de transvase deben controlarse, siempre que proceda, por medio de un procedimiento escrito. Cuando se maniobre con un vagón cisterna, se necesita la más estrecha cooperación entre el conductor de la locomotora y el personal de la planta. Cuando se emplean conductores de los ferrocarriles ingleses, éstos proporcionan y exigen el empleo de un sistema de permisos antes de que su personal desplace un vagón. Se debe emplear un sistema análogo cuando se efectúe una maniobra con una locomotora propiedad de la empresa.

168. El suelo debajo del vagón cisterna debe estar drenado, curvado o inclinado hacia un lado para impedir cualquier derrame de líquido que quede bajo el vehículo o que salga y se acumule bajo cualquier depósito o tubería en la instalación fija o en otro vehículo ferroviario.

169. La nave de carga debe estar dotada de válvulas de aislamiento de emergencia manejadas a distancia. Además, se deben prever válvulas manuales de cierre para cada tubería de conexión de carga y descarga de GLP líquido. Todas las válvulas manuales deben estar dotadas de su propia llave o manivela de funcionamiento con la que se pueda maniobrar rápidamente en caso de emergencia. También se debe considerar la conveniencia de dotar a las tuberías de vapor de otras salvaguardias, como válvulas controladas a distancia, etc. Cuando se utilice un colector de vapor común, se deben fijar válvulas de retención para evitar que el líquido vuelva a los vagones cisternas durante la descarga.

170. Conviene prever una protección adicional contra los incidentes producidos por la separación. Esa protección puede adoptar la forma de conectadores autoobturantes, válvulas de aislamiento interbloqueadas con el movimiento de los vagones de ferrocarril u otro equipo que garantice una protección equivalente.

171. Se debe procurar evitar el llenado excesivo. Para ello, quizás sea necesario limitar el número de vagones cisternas que controla un solo operador y controlar la salida. Una manera positiva de impedir el llenado excesivo consiste en pesar constantemente el vehículo antes de llenarlo en una báscula con un dispositivo de cierre automático al llegar a una cantidad predeterminada.

## Puesta en servicio y cierre definitivo

172. La puesta en servicio y el cierre definitivo de los depósitos de GLP sólo los deben realizar personas conocedoras de los procedimientos y conscientes de los peligros que el GLP presenta.

### Puesta en servicio

173. Antes de llenarlo de GLP, el depósito y sus accesorios deben ponerse a prueba, para verificar que no tienen escapes y que son aptos para el uso. Un método de verificar si existen escapes consiste en presurizar el depósito con aire o gas inerte y verificar si existe alguna reducción de la presión. En la nota de orientación GS4 se puede hallar más información sobre métodos seguros de verificar la presión.

174. Durante la verificación de la existencia de escapes y la purificación se debe tener cuidado en que el depósito no esté sometido a presiones o a condiciones de vacío o temperatura que no correspondan a sus criterios de diseño.

175. Antes de la entrada en servicio, los depósitos y su equipo auxiliar deben limpiarse hasta que el contenido de oxígeno se reduzca a un nivel que no mantenga la combustión. El aire debe suprimirse de los depósitos mediante su sustitución por agua, gas inerte o GLP, o procediendo a su evacuación.

176. Si se utiliza agua para suprimir el aire del depósito, el depósito y sus soportes deben poder soportar el peso cuando está lleno de agua. Se debe poner atención en eliminar toda el agua después de la limpieza.

177. Cuando se utiliza gas inerte para la limpieza del depósito es necesario eliminar el gas de purga con GLP. La mezcla gas de purga/GLP se debe transferir a un lugar seguro y alejado de los depósitos de GLP, los límites, los edificios, los lugares a que tiene acceso el público y las fuentes de ignición, o una chimenea para combustión de gases sobrantes. La separación de los límites, los depósitos de GLP, etc., depende de la velocidad de la limpieza. La base para la separación debe ser la siguiente:

a) si la mezcla de GLP se incendia, el flujo del calor en el límite o en el depósito de GLP no debe exceder de 12,6 $kW/m^2$;

b) cuando no esté inflamada, debe diluirse sin correr riesgos hasta un límite inferior al inflamable antes de llegar a los límites, los edificios y las fuentes de ignición.

178. Si se utiliza vapor de GLP para sustituir el aire, el depósito y el sistema contendrán, durante cierto tiempo, una mezcla inflamable a la que se debe dar salida a la atmósfera de una manera segura. Se debe ajustar un parallamas a la tubería de ventilación para impedir un retorno de la llama si se produce la ignición de los gases ventilados. Esta operación sólo se debe realizar con la supervisión de una persona competente.

179. La evacuación sólo es apropiada en los depósitos proyectados para condiciones de vacío absoluto.

### Cierre definitivo

180. Toda instalación que se vaya a cerrar y a purificar de GLP debe aislarse de cualquier proceso, planta o depósito que contenga GLP. Normalmente esto se efectúa suprimiendo piezas de la tubería o acoplando obturadores o palas a las tuberías. El cierre de las válvulas de cierre no es un medio adecuado de aislamiento.

181. Antes de abrirlo, un depósito de GLP debe:

a) vaciarse de GLP líquido en la medida de lo posible, mediante el uso normal o el transvase a otro depósito adecuado, la quema por calentamiento o la ventilación. Cuando se utiliza una tubería de drenaje para vaciar el depósito, se debe cumplir lo dispuesto en el párrafo 66. Si es necesario dar salida al GLP a la atmósfera, esto sólo se debe efectuar con la cantidad mínima de material;

b) purgarse con un gas inerte hasta que contenga menos del 4 por ciento de GLP y se mantenga a, o cerca de, esa concentración de GLP, es decir, hasta que no queden restos pesados que sigan desprendiendo vapores inflamables;

c) purgarse por desplazamiento con agua o por otro método apropiado. Se debe procurar que no queden restos pesados que puedan provocar la formación de una atmósfera inflamable cuando se introduce el aire en el depósito.

## Mantenimiento y examen

182. La instalación debe conservarse de manera apropiada hasta alcanzar niveles aceptables, determinados y verificados por un ingeniero competente de la disciplina adecuada, con el objetivo de mantener los límites establecidos de funcionamiento seguro. Se debe hacer hincapié en las características que influyen en la integridad de la instalación o en la capacidad para adoptar medidas de urgencia. En las instalaciones alquiladas a los abastecedores de gas, esta actividad la puede llevar a cabo la empresa propietaria del depósito.

183. Se debe preparar un plan de mantenimiento que incluya dispositivos e instrumentos de protección, cuya forma y detalles deben reflejar las necesidades de la instalación de que se trate. Para instalaciones sencillas pueden resultar adecuados los manuales sobre prestación de servicios y mantenimiento.

184. Se deben llevar registros apropiados con el fin de que se puedan comprobar de manera adecuada los planes de mantenimiento. Se ha de dejar constancia de cualquier reparación o sustitución importante.

185. Una persona competente debe preparar o aprobar un plan para el examen de la instalación y repasarlo después de cada examen. Los depósitos se deben examinar en los intervalos previstos por una persona competente. Los vaporizadores de caldeo directo se deben examinar cabalmente con intervalos que no excedan de un año.

186. El alcance de cualquier examen particular y las técnicas de inspección que se han de utilizar deben ser determinados por la persona competente. El examen de los recipientes de presión debe incluir la estructura de soporte, los dispositivos de sujeción y los cimientos.

187. El examen de los depósitos subterráneos o atrincherados debe incluir pruebas de corrosión; por ejemplo, verificaciones ultrasónicas detalladas del espesor. Si no se tiene acceso al interior, la superficie exterior tendrá que estar al descubierto para que se pueda efectuar el examen.

188. Las tuberías subterráneas que transportan líquido y están tendidas en un foso terraplenado deben examinarse para detectar cualquier corrosión y someterse a pruebas para determinar su integridad permanente, por lo menos una vez cada diez años.

189. Cualquier deterioro o defecto importante hallado y cualquier trabajo de reparación efectuado deben registrarse en el informe sobre el examen, con indicación de las técnicas de inspección utilizadas. La persona competente debe evaluar el efecto de ese deterioro, defecto o reparación y debe aprobar o modificar en consecuencia los límites del funcionamiento seguro.

190. El informe sobre el examen debe especificar los datos siguientes:

*a)* la presión máxima de funcionamiento seguro;

*b)* la presión mínima de funcionamiento seguro;

*c)* la temperatura mínima de funcionamiento seguro;

*d)* la carga máxima que sea permisible (sobre los soportes);

*e)* la fecha del examen siguiente.

191. Cualquier reparación o modificación realizada debe garantizar un nivel que sea por lo menos igual al de la especificación original del diseño y de la construcción. Cuando ese trabajo puede afectar a la integridad de la instalación, una persona competente debe supervisarlo y certificarlo, así como aprobar o modificar los límites de funcionamiento seguro en consecuencia.

## Procedimientos de explotación

192. Se deben establecer por escrito los procedimientos de explotación, en los que se definirán claramente las actividades o funciones requeridas de las personas que participan en el proceso. Estos procedimientos deben abarcar las actividades normales y de urgencia y ser revisados con regularidad para asegurarse de su idoneidad en todo momento. Deben modificarse para tener en cuenta cualquier alteración o modificación de la instalación. Los procedimientos se deben poder consultar con facilidad y de preferencia deben estar claramente a la vista. Cuando proceda, se deben distribuir ejemplares o resúmenes pertinentes a las personas relacionadas con el emplazamiento, incluidos los contratistas que entran o que trabajan en él.

193. Los procedimientos deben incluir:

*a)* la transferencia de GLP a y de la instalación (a estos efectos las listas de verificación pueden resultar útiles);

*b)* la transferencia de GLP a otros lugares cuando las cisternas de distribución parten del emplazamiento;

*c)* los sistemas de autorización para trabajar;

*d)* el mantenimiento y la modificación de la planta, con inclusión del mantenimiento del equipo eléctrico protegido;

*e)* los procedimientos de emergencia.

194. Los empleados y trabajadores autónomos deben actuar únicamente en el campo de su esfera de responsabilidad. No se deberá incurrir en ninguna desviación de los procedimientos escritos sin la autorización escrita de la persona responsable y competente en el emplazamiento.

195. Se debe poner particular cuidado al drenar los depósitos de almacenamiento en servicio para reducir al mínimo el escape de GLP. De las dos válvulas de drenaje, la más cercana al depósito debe estar totalmente abierta antes y el drenaje se debe controlar a continuación mediante la apertura gradual de la segunda válvula. Si al abrirse la segunda válvula no se produce ninguna descarga, ambas válvulas deben cerrarse de inmediato para proceder a una investigación. Al terminarse la operación de drenaje, se debe cerrar primero la válvula más alejada del depósito de almacenamiento y luego la otra.

## Capacitación

196. Los empleadores deben asegurarse de que los empleados relacionados con el GLP conozcan sus propiedades y riesgos. Los empleados deben recibir instrucción sobre las operaciones normales, con inclusión de los procedimientos de carga y descarga y las medidas de emergencia, lucha contra incendios y el cierre de emergencia. Esta instrucción debe ir seguida de sesiones de capacitación práctica adecuada, a fin de conseguir que cada empleado sea competente en el cumplimiento de sus deberes y también para que conozca la instalación y sus procedimientos de funcionamiento. La capacitación debe ser una actividad constante e incluir cursos de repaso, cuando proceda. Los procedimientos de emergencia se deben ejercitar por lo menos una vez al año, salvo en las instalaciones domésticas.

197. Todas las actividades que se llevan a cabo en las instalaciones de GLP deben ser ejecutadas por un personal adecuadamente capacitado. Se debe designar y capacitar a un número suficiente de personas para que supervisen los procedimientos y las actividades en la instalación.

198. El empresario o propietario debe estar al tanto de cualquier alteración de la planta y de cualquier cambio de los procedimientos de funcionamiento, y debe recibir una formación adicional para garantizar el funcionamiento seguro de la instalación.

## Bibliografía

### Textos jurídicos

The Health and Safety at Work etc Act 1974 (Ley sobre seguridad e higiene en el lugar de trabajo)
ISBN 0 10 543774 3 HMSO.

The Highly Flammable Liquids and Liquefied Petroleum Gases Regulations 1972 (Reglamentos sobre los líquidos altamente inflamables y los gases de petróleo licuado) (SI 1972 No 917) ISBN 0 11 020917 6 HMSO.

Health and Safety (Enforcing Authority) Regulations 1977 (Reglamento sobre seguridad e higiene (autoridades encargadas del cumplimiento)) (SI 1977 No 746)
ISBN 0 11 070746 X HMSO.

The Control of Industrial Major Hazards Regulations 1984 (Reglamento sobre el control de los riesgos industriales graves) (SI 1984 No 1902) ISBN 0 11 047902 5 HMSO.

The Notification of Installations Handling Hazardous Substances Regulations 1982 (Reglamento sobre la notificación de las instalaciones que manipulan sustancias con riesgo de accidente) (SI 1982 No 1357)
ISBN 0 11 027357 5 HMSO.

The Safety Signs Regulations 1980 (Reglamento sobre las señales de seguridad) (SI 1980 No 1471)
ISBN 0 11 007471 8 HMSO.

Fire Certificates (Special Premises) Regulations 1976 (Reglamento sobre los certificados de protección contra incendios (locales especiales)) (SI 1976 No 2003)
ISBN 0 11 062003 8 HMSO.

Dangerous Substances (Conveyance by Road Tankers and Tank Containers) Regulations 1981 (Reglamento sobre sustancias con riesgo de accidente (transportadas en camiones cisternas y contenedores)) (SI 1981 No 1059)
ISBN 0 11 017059 8 HMSO.

Approved Code of Practice. Operational provisions of the Dangerous Substances (Conveyance by Road Tankers and Tank Containers) Regulations 1983 (Código de prácticas aprobado. Reglamento sobre las disposiciones de funcionamiento relativas a las sustancias con riesgo de accidente (Transporte en camiones cisternas y contenedores)) ISBN 0 11 883728 1 HMSO.

The Classification, Packaging and Labelling of Dangerous Substances Regulations 1984 (Reglamento sobre clasificación, embalaje y etiquetado de sustancias con riesgo de accidente) (SI 1984 No 1244)
ISBN 0 11 047244 6 HMSO.

Gas Act 1986 (Ley sobre el gas)
ISBN 0 10 544486 3 HMSO.

Pipelines Act 1962 (Ley sobre tuberías)
ISBN 0 10 8500 98 5 HMSO.

Petroleum (Consolidation Act) 1928 (Ley refundida sobre el petróleo) ISBN 0 10 850212 0 HMSO.

### Códigos LPGITA

LPGITA (UK) Code of Practice No 1 March 1978. *Installation and maintenance of bulk LPG storage at consumers' premises* (Código de práctica LPGITA (Reino Unido) núm. 1, marzo de 1978. Instalación y mantenimiento del GLP a granel almacenado en locales de los consumidores) ISBN 0 900323 9.

LPGITA (UK) Code of Practice No 22 LPG Piping – System design and installation (Código de práctica LPGITA (Reino Unido) núm. 22. Diseño e instalación del sistema de tuberías para GLP).

### Directrices sobre seguridad e higiene

Health and Safety Series Booklet HS(R)16. *A Guide to the Notification of Installations Handling Hazardous Substances Regulations 1982* (Manual relativo al Reglamento sobre notificación de las instalaciones en donde se manipulan sustancias con riesgo de accidente) ISBN 0 11 883675 7 HMSO.

Health and Safety Series Booklet HS(R)21. *A Guide to the Control of Industrial Major Accident Hazard Regulations 1984* (Manual sobre el Reglamento relativo al control de los principales riesgos de accidente industrial)
ISBN 0 11 883767 2 HMSO.

Health and Safety Series Booklet HS(G)22. *Electrical apparatus for use in potentially explosive atmospheres* (Los aparatos eléctricos para uso en atmósferas potencialmente explosivas) ISBN 0 11 883746 X. HMSO.

Health and Safety Series Booklet HS(G)25. *The Control of Industrial Major Accident Hazards Regulations 1984 (CIMAH): further guidance on emergency plans* (Reglamento sobre la prevención y lucha contra los principales riesgos de accidentes industriales 1984 (CIMAH): nueva guía sobre los planes de emergencia)
ISBN 0 11 883831 8 HMSO.

HSE Guidance Note CS4 (junio de 1986) *The keeping of LPG in cylinders and similar containers* (El mantenimiento de GLP en bombonas y contenedores análogos) ISBN 0 11 883539 4 HMSO.

HSE Guidance Note CS8 (mayo de 1985) *Small scale storage and display of LPG at retail premises* (Almacenamiento en pequeña escala y distribución de GLP en locales al por menor) ISBN 0 11 883614 5 HMSO.

HSE Guidance Note CS4 *Safety in Pressure Testing* (La seguridad en los ensayos para verificar la presión) HMSO 0 11 883043 0 HMSO.

**Normas británicas**

BS 476 Fire Tests on building materials and structures (Ensayos de materiales de construcción y estructuras contra incendios).

Parte 1: 1953 Fire tests on building materials and structures (superseded by Parts 7 and 8) (Ensayos de materiales de construcción y estructuras contra incendios (sustituida por las partes 7 y 8)).

Parte 4: 1970 Non combustibility test for materials (Ensayos sobre la no combustibilidad de los materiales).

Parte 8: 1972 Test methods and criteria for the fire resistance of elements of building construction (Métodos y criterios de ensayo relativos a la resistencia ante los incendios de los elementos de construcción y edificación).

BS 1710: 1984. Specification for identification of pipelines and services (Especificación para la identificación de tuberías y servicios).

BS 3351: 1971. Piping systems for petroleum refineries and petrochemical plants (Sistemas de tuberías para las refinerías de petróleo y las plantas de productos petroquímicos).

BS 4089: 1966. Rubber hose and hose assemblies for liquefied petroleum gas lines (Mangueras y montajes de mangueras de caucho para tuberías de gas licuado de petróleo).

BS 4250: 1975. Specification for Commercial Butane and Propane (Especificaciones relativas al butano y propano comerciales).

BS 5146: Inspection and test of valves. Part 1: 1974: Steel valves for petroleum, petrochemical and allied industries (Inspección y pruebas de las válvulas). Parte 1: 1974: Válvulas de acero para las industrias del petróleo, petroquímica y afines.

BS 5306 Code of Practice for fire extinguishing installations and equipment on premises (Código de prácticas relativo a las instalaciones y al equipo de extinción de incendios en locales).

Parte 1: 1976 Hydrant systems, hose reels and foam inlets (Sistemas de bocas de riego, carreteles de mangueras y orificios de entrada de espuma).

Parte 3: 1985 Code of Practice for the selection, installation and maintenance of portable fire extinguishers (Código de prácticas relativo a la selección, instalación y mantenimiento de extintores portátiles de incendios).

BS 5345: Code of Practice for the selection, installation and maintenance of electrical apparatus for use in potentially explosive atmospheres (other than mining applications or explosive processing and manufacture) (Código de prácticas relativo a la selección, instalación y mantenimiento de aparatos eléctricos para uso en atmósferas potencialmente explosivas (distintas de las aplicaciones en minería o del procesamiento y fabricación de explosivos)).

Parte 1: 1976 Basic requirements for all parts of the Code (Requisitos básicos de todas las piezas indicadas en el código).

BS 5355: 1976 Specification for filling ratios and developed pressures for liquefiable and permanent gases (Especificación relativa a los porcentajes de llenado y presiones producidas de los gases licuables y permanentes).

BS 5423: 1980 Specification for portable fire extinguishers (Especificación relativa a los extintores portátiles de incendios).

BS 5499: Fire safety signs, notices and graphic symbols. Part 1: 1984: Specification for fire safety signs (Señales, avisos y símbolos gráficos de seguridad contra incendios. Parte 1: 1984: Especificación relativa a las señales de seguridad contra incendios).

BS 5500: 1985 Unfired fusion welded pressure vessels (Recipientes a presión refractarios soldados por fusión).

BS 5958: Code of Practice for the control of undesirable static electricity. Part 1: 1980: General considerations (Código de prácticas para el control de la electricidad estática indeseable. Parte 1: 1980: Consideraciones generales).

BS 6651: 1985 Code of Practice for protection of structures against lightning (Código de prácticas para la protección de estructuras contra los rayos).

BS 6759: Parte 3: 1984 Specification for safety valves for process fluids (Especificación de 1984 relativa a las válvulas de seguridad para fluidos elaborados).

*Nota:* Las normas británicas se pueden obtener dirigiéndose a British Standards Institution, Sales Department, Linford Wood, Milton Keynes, MK14 6LE. Tel. (0908) 32006 (existe un sistema de espera telefónica).

**Normas del Instituto del Petróleo estadounidense**

API 520 Recommended Practice for the Design and Installation of Pressure. Relieving Systems in Refineries (Práctica recomendada para el diseño e instalación de sistemas de atenuación de la presión en las refinerías).
Parte 1: Design (Diseño).
Parte 2: Installation (Instalación).

API 607 Fire tests for soft seated quarter turn valves (Ensayos de la resistencia contra incendios de las válvulas dúctiles ajustadas a un cuarto de vuelta).

API 6FA Specification for fire tests for valves (Especificaciones relativas a los ensayos de la resistencia contra incendios de las válvulas).

API 2000 Venting atmospheric and low pressure storage tanks (non-refrigerated and refrigerated) (Salida de gases de las cisternas de almacenamiento a presión atmosférica y de baja presión (no refrigeradas y refrigeradas)).

**Normas nacionales estadounidenses**

ANSI B31.3 Chemical Plant and Petroleum Refinery Piping (Tuberías de las plantas químicas y de las refinerías de petróleo).

1: 1981 adición a ANSI/ASME B31.3 – edición de 1980 (ANSI/ASME B31.3a–1980).

2: 1982 adición a ANSI/ASME B31.3 – edición de 1980 (ANSI/ASME B31.3b–1982).

## Apéndice: Protección de los recipientes contra las condiciones de vacío

### Consideraciones generales

1. Durante períodos prolongados de tiempo frío es posible que la temperatura del contenido de un recipiente descienda por debajo de 0°C. En algunos productos compuestos, particularmente el butano comercial, esto conducirá a que la presión del vapor en el recipiente descienda por debajo de la presión atmosférica. A menos que el recipiente haya sido diseñado para funcionar en condiciones de vacío, ello podría provocar su ruptura.

### Diseño del recipiente

2. Como se indica en el párrafo 38 del documento principal, el diseño de los recipientes para butano debe cumplir los criterios siguientes:

| | |
|---|---|
| Presión máxima de funcionamiento seguro | Presión manométrica de 4,83 bar (70 psig) |
| Presión mínima de funcionamiento seguro | Presión absoluta de 480 mbar (7 psi absoluta) |
| Temperatura mínima de funcionamiento seguro | –18°C |

Un recipiente debe, por tanto, estar proyectado para soportar un vacío o se debe incorporar un sistema que proporcione un medio positivo de prevenir el vacío. Si se puede mostrar que las condiciones meteorológicas locales son tales que no se producen períodos fríos prolongados, no serán necesarias las precauciones contra el vacío.

### Prevención del vacío

3. El vacío se puede prevenir por medio de:

*a)* **Regreso de vapor caliente** Cabe reciclar vapor caliente de GLP a partir de un vaporizador que lo envía al espacio de vapor del recipiente para mantener la presión requerida, con la condición de que:

i) el vaporizador tenga una capacidad suficiente para mantener al recipiente por encima de su presión mínima de funcionamiento seguro, al mismo tiempo que suministra vapor al proceso a su ritmo máximo de demanda;

ii) se prevea un medio para regular el paso del vapor al recipiente con el fin de mantener la presión necesaria. Ese medio puede ser un autorregulador de capacidad suficiente para regir el paso del vapor o, cuando se cuenta con una supervisión constante, una válvula de paso de funcionamiento manual. Se debe incorporar una válvula de sobrecarga manual en torno al regulador para permitir el funcionamiento manual del sistema, si falla el regulador;

iii) se ajuste una alarma automática de alta y baja presión;

*b)* **Presurización del vapor de propano** El espacio del vapor ambiente del recipiente se puede interconectar con el vapor ambiente de un recipiente de propano o de bombonas que contengan propano, con la condición de que:

i) el recipiente o las bombonas de propano estén situados según lo indicado en este folleto de orientación;

ii) se instale un regulador de presión del propano para que rija el paso del vapor con el fin de mantener una presión segura;

iii) la tubería y los accesorios entre los dos recipientes o entre el recipiente y las bombonas sean permanentes, estén diseñados de acuerdo con las normas relativas al propano y cuenten con un soporte adecuado. No se deben utilizar mangueras flexibles salvo con bombonas, con las que cabe emplear pequeñas mangueras metálicas en la conexión bombona-tubería;

iv) la tubería se instale de manera que no exista la posibilidad de que el propano líquido penetre en el recipiente receptor;

v) se ajuste una alarma automática de alta y baja presión;

vi) la cantidad de propano en el recipiente se verifique con regularidad para asegurar un abastecimiento adecuado. Cuando se utilizan bombonas, no siempre es posible verificar su contenido y se debe incorporar un sistema automático de permutación;

*c)* **La composición del producto** En casos especiales, la composición del butano ajustada a la BS 4250: 1975 puede, por acuerdo con el abastecedor, controlarse de manera que la presión del vapor con la temperatura mínima de funcionamiento sea superior a la presión mínima de funcionamiento seguro del recipiente. El

abastecedor y el usuario se deben poner de acuerdo sobre la norma por escrito. La instalación debe poder soportar la presión máxima del vapor de la mezcla de GLP a la temperatura de referencia del recipiente;

*d)* **Válvulas vacuorreguladoras** Las válvulas vacuorreguladoras impedirán que se produzca un vacío, pero pueden plantear numerosos problemas de funcionamiento y seguridad, y normalmente sólo se deben utilizar en un caso de emergencia. Se debe recabar el asesoramiento especializado del abastecedor de GLP;

e) **Presurización de gas inerte** Se puede introducir un gas inerte en el vapor ambiente del recipiente, pero ello puede plantear problemas de funcionamiento debido al carácter no condensable del gas. Se debe recabar el asesoramiento especializado del abastecedor de GLP.

**Alarmas de alta y baja presión**

4. Unos sensores de presión instalados en aparatos de alarma de alta y baja presión deben vigilar la presión del vapor en el recipiente. Los sensores de presión instalados en la tubería entre el vaporizador o la fuente de vapor de propano y el recipiente pueden no dar una indicación segura de la presión del recipiente:

*a)* **Alarma de alta presión** Debe establecerse debajo de la válvula de seguridad del recipiente y anunciar una presión anormalmente elevada en el recipiente. Son aceptables los rociadores de agua incorporados al recipiente que funcionen automáticamente al producirse una alta presión en el recipiente y que den la alarma;

*b)* **Alarma de baja presión** Debe advertir acerca de una presión anormalmente baja que indica una falla en el equipo de control de la presión. Debe regularse en un nivel superior a la presión mínima de funcionamiento seguro del recipiente.

**Apéndice 5 b)**

# Asesoramiento en materia de seguridad relativo a las instalaciones de cloro a granel

(Reproducido del folleto de Health and Safety Executive: *Safety advice for bulk chlorine installations*, Health and Safety series booklet HS (G) 28 (Londres, HMSO, 1986).)

# Indice

**Prólogo**

**Introducción**

**Emplazamiento de las instalaciones**

**Zona de descarga**

Diseño y emplazamiento
Incidentes potenciales
Abastecimiento de cloro líquido por camión cisterna
Abastecimiento de cloro líquido por vagón cisterna
Dispositivos de inmovilización
Consideraciones relativas al diseño con respecto a la estructura de acceso al punto de descarga

**Conexiones entre la cisterna y las tuberías fijas en la instalación de almacenamiento**

Diseño y mantenimiento
Tipos de conexión.
Acoplamientos flexibles
Mangueras flexibles
Brazos articulados
Procedimientos de funcionamiento y mantenimiento

**Tuberías para cloro líquido**

Tuberías permanentes en el punto de descarga
Tuberías para cloro líquido
Criterios de diseño para las tuberías que transfieren cloro líquido a cisternas de almacenamiento o de los depósitos de almacenamiento al punto de uso
Protección de la tubería

**Protección de las tuberías de cloro líquido contra la presión excesiva**

Dotación de sistemas de seguridad
Sistemas de seguridad
Cápsulas de seguridad para aliviar la presión de la tubería
Depósitos de expansión para reducir la presión de la tubería

**Válvulas**

Tipos de válvula
Válvulas esféricas verticales
Válvulas de obturación cónicas (con manguitos de teflón)
Válvulas de flotador
Válvulas de control remoto

**Recipientes de almacenamiento**

Criterios de diseño
Conexión de las tuberías y medio de aislamiento de los tanques de almacenamiento
Entrada de cloro líquido
Salida de cloro líquido
Tuberías de ventilación y de gas seco comprimido
Sistema de seguridad
Instrumentos

**Protección de los recipientes de almacenamiento contra la presión excesiva**

Sistema de desahogo
Cápsulas de seguridad
Disposiciones relativas al sistema de desahogo
Sistema de mantenimiento
Recipientes de expansión
Alarmas de presión

**Inspección y puesta en servicio de las instalaciones de tanques de cloro**

Consideraciones generales
Procedimiento de inspección
Pruebas

**Descarga del cloro líquido de las cisternas a los recipientes de almacenamiento**

Consideraciones generales
Descarga mediante uso de aire comprimido seco o nitrógeno seco
Nitrógeno a presión
Aire comprimido
Suministro al sistema
Descarga mediante uso de presión de gas de cloro
Uso de vapor de cloro recomprimido
Uso de cloro vaporizado

**Paso del cloro a las instalaciones de consumo**

Transvase de cloro líquido
Transferencia de cloro gaseoso
Precauciones
Transvase de cloro líquido mediante uso de vapor a presión
Transvase de cloro líquido mediante relleno con gas comprimido seco
Transvase de cloro líquido mediante tanque de bombeo separado
Transvase de cloro líquido mediante bomba anegada

**Vaporizadores del cloro**

Métodos de calentamiento
Tipos
Regulación del volumen o cantidad global
Instalación general
Seguridad
Riesgos de accidentes
Aislamiento programado y de emergencia
Válvula de control de la presión
Corrosión

**Sistema de absorción del cloro**

Sistema de recogida de las emisiones
Equipo de absorción
Instrumentos
Eliminación del efluente de la planta de absorción del cloro

**Equipo de protección para situaciones de emergencia**

Equipo de protección respiratoria para uso normal
Equipo protector respiratorio para casos de emergencia
Ropa protectora para casos de emergencia
Juegos de herramientas de emergencia
Represión del escape de cloro

**Selección y capacitación de los trabajadores e instrucciones de funcionamiento**

Selección y capacitación del trabajador
Instrucciones de funcionamiento

**Mantenimiento**

Procedimientos de autorización
Modificaciones del circuito del cloro

**Procedimientos de emergencia**

Detectores de cloro
Centrales de alarma locales
Plan de emergencia de la fábrica
Centros de control de las situaciones de emergencia
Equipo de emergencia del emplazamiento
Areas de reunión en caso de emergencia
Cuidado de las víctimas

## Apéndices

1 Propiedades del cloro
2 Instalaciones externas e instalaciones internas
3 Publicaciones y normas
4 Procedimientos para la descarga de camiones cisternas de cloro
5 Resumen: tipos de vaporizador

## Prólogo

Las presentes directrices las preparó un grupo de trabajo que se reunió con los auspicios del Grupo de la Industria Química Nacional de la HSE y se basa en *Guidelines for Bulk Handling of Chlorine at Customers Installations* (Directrices para la manipulación a granel del cloro en las instalaciones de los clientes), publicado por *Chemical Industries Association Limited* en 1980. A medida que los conocimientos avanzan, podrá ser necesario actualizar estas directrices en el futuro.

Los miembros del grupo de trabajo eran representantes de los cuatro productores de cloro del Reino Unido, un representante del Sindicato de Trabajadores del Transporte y en General y personal de la Junta Ejecutiva de Seguridad e Higiene que trabaja bajo la presidencia de un reponsable de esa oficina.

Las directrices se pueden aplicar a cualquier instalación de cloro a granel, pero no pretenden ser un código de diseño detallado. Algunas instalaciones existentes pueden no satisfacer en la actualidad todas las recomendaciones y, en algunos casos, no todas las recomendaciones pueden resultar apropiadas. Incumbe al ocupante, por lo general en consulta con el abastecedor de cloro y/o asesores especializados, decidir si son necesarias en cualquier caso particular. Si se demuestra la necesidad de efectuar modificaciones, habrá que adoptar una decisión con conocimiento de causa sobre la naturaleza y oportunidad de los cambios que se han de hacer. La responsabilidad final incumbe a la empresa que explota la planta para que ésta funcione con seguridad.

Una publicación de la Asociación de Industrias Químicas titulada *Inter-Company Collaboration for Chlorine Emergencies* y publicada en 1978 es pertinente.

En esa publicación se ofrecen consejos a los usuarios del cloro que afrontan situaciones de emergencia y se indican detalles de la asistencia inmediata que puede obtenerse con arreglo al plan Chlor-Aid.

La Junta Ejecutiva de Seguridad e Higiene agradece su asistencia y cooperación a los representantes de la industria del cloro en la preparación de estas directrices, y a la Asociación de Industrias Químicas por haber autorizado que se reproduzcan partes sustanciales de las *Directrices* de 1980.

## Introducción

1. La presente publicación da pautas sobre el manejo seguro del cloro líquido a granel. Su objetivo es proporcionar asesoramiento a los que reciben cloro líquido en camiones o vagones cisternas con el fin de que la descarga y el almacenamiento, y la transferencia, vaporización y uso posteriores, puedan realizarse de modo que se reduzca a un mínimo la posibilidad de accidentes que originen peligros para los trabajadores, el público o la planta. Las recomendaciones se basan en la experiencia conjunta de los cuatro fabricantes de cloro del Reino Unido, sus clientes y la Junta Ejecutiva de Seguridad e Higiene (HSE), complementada con otras recomendaciones publicadas en todo el mundo.

2. Las directrices abarcan las exigencias en todas las etapas, desde la recepción del cloro líquido hasta el punto de uso, con inclusión del emplazamiento, el diseño, la puesta a prueba y el funcionamiento y mantenimiento del equipo. También se indican los procedimientos para hacer frente a emergencias.

3. La experiencia ha mostrado que cada instalación require un examen individual y que existen numerosos aspectos del diseño detallado que necesitan ser estudiados a fondo por la empresa consumidora que explota la planta y el abastecedor del cloro.

4. «Las fábricas de cloro», es decir, las fábricas en que se produce o utiliza el cloro en cualquier proceso de fabricación, figuran en la lista de fábricas recogida en la ley de fábricas de álcalis, etc., de 1906, modificada por el reglamento sobre seguridad e higiene ( emisiones en la atmósfera) de 1983, y deben registrarse anualmente en la Inspección de la Contaminación Industrial del Aire de la Junta Ejecutiva de Seguridad e Higiene o en el Departamento de Desarrollo de Escocia, Inspección de la Contaminación Industrial de Escocia.

5. El reglamento de 1982 sobre la notificación de las instalaciones en donde se manipulan sustancias con riesgo de accidente (SI 1982 núm. 1357) impone la obligación de que todas las instalaciones donde se puedan mantener más de 10 toneladas de cloro se han de notificar a la Junta Ejecutiva de Seguridad e Higiene. También se deben notificar los cambios en la actividad indicada. Las nuevas instalaciones con una capacidad superior a las 10 toneladas de cloro, y las propuestas de aumentar la capacidad notificada a más del triple de la capacidad original, se deben comunicar con tres meses de antelación. El formulario de la notificación figura en el reglamento.

6. El reglamento de 1984 sobre la prevención y lucha contra los principales riesgos de accidentes industriales (SI 1984 núm. 1902) se aplica también a los lugares en los que se almacena o procesa cloro. Este reglamento se aplica en dos niveles. Existen dos requisitos generales: demostrar a la Junta Ejecutiva de Seguridad e Higiene, en cualquier momento, que se han reconocido los riesgos de accidentes graves y comunicar los accidentes importantes. En el caso del «almacenamiento aislado» de cloro, se aplica a la cantidad umbral de 10 toneladas. Para los lugares donde se procesa, no se especifica ninguna cantidad límite, pero la HSE dará inicialmente prioridad a los emplazamientos que se pueden notificar con arreglo al reglamento sobre notificación de 1982. Los requisitos indicados en el reglamento son la preparación de un expediente de seguridad, la preparación de planes de emergencia en el lugar y fuera del lugar y la facilitación de información a los miembros del público que es probable se vean afectados por un accidente grave. Con respecto al cloro, los requisitos específicos se aplican a los lugares de procesamiento a una cantidad límite de 50 toneladas y al «almacenamiento aislado» a una cantidad límite umbral de 200 toneladas.

7. El permiso para planificar nuevas instalaciones se debe obtener de la manera habitual de las autoridades locales, las cuales suelen recurrir al asesoramiento de la HSE. Comúnmente la Junta solicita en esos casos que se presente un informe técnico con respecto a la instalación.

## Emplazamiento de las instalaciones

8. Las observaciones que se formulan a continuación se refieren a las características generales que influyen en el emplazamiento de la instalación. Otros factores más concretos de posible consideración se examinan en las secciones detalladas que se ocupan de los procedimientos de descarga y emergencia, en los que la facilidad de acceso tiene suma importancia.

9. Se deben tener plenamente en cuenta las condiciones impuestas por las autoridades de planificación al dar su permiso. Con respecto a cada nueva instalación, la autoridad de planificación local tiene que asegurarse de que el plan general evitará que se planteen problemas en el futuro debidos a cambios que produzcan una alta densidad de población en las inmediaciones de la instalación o que se introduzcan otros riesgos potenciales en una zona adyacente. Para los emplazamientos que presentaran esos peligros, la HSE puede recomendar que se apliquen las normas más altas.

10. Con respecto a las instalaciones existentes, no es posible controlar la densidad actual de población. Sin embargo, los cambios próximos que podrían aumentar el número de personas son controlables y la autoridad local de planificación sólo los debe permitir después de un examen pormenorizado, que normalmente incluye asesoramiento solicitado por la HSE.

11. La ubicación de nuevas instalaciones de cloro en un lugar ha de tener en cuenta los posibles daños a inundaciones o hundimientos y los posibles daños que podrían sufrir si una planta o fábrica vecina sufriese una catástrofe causada por fuego o una explosión. Las instalaciones deben estar emplazadas a una distancia suficiente (25 metros como mínimo) de las carreteras públicas o las principales líneas de ferrocarril para reducir el peligro de daño a la instalación de cloro, si se produjera un accidente. Cuando sea necesario, se deben instalar barreras protectoras.

12. En cualquier caso, se deben instalar vallas adecuadas, junto con una supervisión de seguridad apropiada, para reducir al mínimo la posibilidad de un acceso no autorizado.

13. Los riesgos derivados de los aviones pueden normalmente considerarse mínimos con probabilidades inferiores al nivel de significación estadística requerido para cualquier consideración especial. Sin embargo, quizás sea necesario que se preste atención en circunstancias excepcionales, por ejemplo si la instalación está situada al extremo de la pista de un aeropuerto o cercana a un campo de aviación que se utiliza para adiestramiento.

14. La instalación debe estar emplazada de preferencia al aire libre; sin embargo, en algunas circunstancias puede resultar apropiada la instalación en un edificio. Al adoptar una decisión sobre esta cuestión, conviene efectuar un examen cabal, teniendo en cuenta los factores enumerados en el apéndice 2.

## Zona de descarga

### Diseño y emplazamiento

15. Para reducir al mínimo la posibilidad de un escape de cloro durante el transvase del cloro líquido de los vehículos de transporte a la instalación de almacenamiento, es esencial prestar una atención pormenorizada al emplazamiento, el diseño y la disposición del equipo de descarga y del procedimiento de funcionamiento.

16. La zona de descarga se debe encontrar en un terreno razonablemente nivelado con suficiente espacio circundante que proporcione un buen acceso desde direcciones diferentes. Se debe instalar una iluminación adecuada en todas las rutas de huida y es aconsejable instalar una iluminación de emergencia.

17. Es necesario instalar estaciones de alarma suficientes de funcionamiento manual para dar la alarma en caso de producirse un escape de cloro. En los párrafos 247 a 263 se indican otros detalles sobre los procedimientos de emergencia.

18. El punto de descarga debe estar situado de preferencia razonablemente cerca, pero a no menos de 5 metros de la instalación de almacenamiento. Sin embargo, si existe una barrera física entre la cisterna y la instalación de almacenamiento, esta distancia se puede reducir. El punto de descarga debe también estar a una distancia segura de cualquier planta o equipo que pueda provocar un incendio o una explosión.

19. Puede resultar conveniente instalar una válvula de control remoto en la tubería de descarga a los tanques de almacenamiento.

20. El posible efecto sobre el sitio del escape de cloro debe estudiarse, teniendo en cuenta la dirección dominante del viento, la válvula de ventilación, el emplazamiento de las salas de control y la presencia del público en general.

### Incidentes potenciales

21. Es preciso examinar los incidentes potenciales siguientes, que podrían provocar un escape de cloro:

*a)* daño causado a las tuberías de cloro por la cisterna cuando está avanzando o retirándose del punto de descarga; se debe prever suficiente espacio libre desde la cabeza de la válvula, cuando está abierta;

*b)* el movimiento de la cisterna durante la operación de transvase, por ejemplo el movimiento ascendente normal de la cisterna sobre su suspendedor, puede provocar daños si existe una flexibilidad inadecuada en la conexión;

*c)* daños causados a la cisterna de cloro líquido, al tanque de almacenamiento o a la tubería de conexión por el impacto de otros vehículos, por el movimiento causado por un frenado o choque improcedente o por la actuación negligente del conductor;

*d)* errores en el procedimiento de trabajo;

*e)* fallo del equipo debido a la corrosión;

*f)* daños causados por un incendio o explosión.

**Abastecimiento de cloro líquido por camión cisterna**

22. Se recomienda encarecidamente que se utilicen los medios siguientes para reducir al mínimo los riesgos potenciales, siempre que sea posible:

*a)* establecimiento de una zona separada de descarga para uso exclusivo de las cisternas que transportan cloro. Esta puede estar constituida por un apartadero con una protección lateral adecuada (como las barreras de las autopistas) o un camino cortado;

*b)* limitación por los medios adecuados de la velocidad del tráfico en las carreteras adyacentes;

*c)* colocación de barreras de lámparas de advertencia, avisos, barreras móviles o pilones móviles, y el cierre de puertas cuando las cisternas de cloro están en su sitio;

*d)* dotación de un sistema de inmovilización (véase el párrafo 25) para impedir la conexión de las tuberías de cloro líquido con las cisternas, a menos que estén colocadas barreras;

*e)* establecimiento de un sistema de trabajo con arreglo al cual una persona (el conductor) está presente durante toda la descarga y una segunda persona está presente durante las operaciones de conexión y desconexión. La segunda persona debe estar en las inmediaciones y a disposición durante toda la descarga. En el apéndice 4 se indica un procedimiento corriente;

*f)* determinación del camino de las tuberías de cloro en la zona, de modo que se reduzca al mínimo el riesgo de daños debidos a colisiones de la cisterna, otros vehículos o un equipo móvil.

23. Cuando no se puede reservar una zona separada para la descarga y el punto de descarga se encuentra en una fábrica a través de una carretera, esa carretera debe estar cerrada al tráfico de otros vehículos durante el transvase del cloro líquido.

**Abastecimiento de cloro líquido por vagón cisterna**

24. Se recomienda encarecidamente la adopción de los medios que se indican a continuación para reducir al mínimo los riesgos potenciales:

*a)* cierre de los apartaderos a otro tráfico durante el transvase del cloro de la cisterna al almacén, cerrando los extremos;

*b)* control por medios adecuados del volumen y velocidad del tráfico adyacente;

*c)* cierre de las barreras de aviso y/o colocación de avisos cuando están descargando las cisternas de cloro;

*d)* dotación de un sistema de inmovilización (véase el párrafo 25) para impedir la conexión o desconexión de las tuberías de cloro líquido, a menos que estén colocados los avisos. Se recomienda que el sistema de inmovilización garantice también que los puntos apropiados de los apeaderos de ferrocarril estén cerrados y que se coloquen topes de rueda antes de que comience el transvase del cloro líquido;

*e)* establecimiento de un sistema de trabajo con arreglo al cual una persona sea responsable de toda la operación de descarga y otra persona esté a disposición durante las operaciones de conexión y desconexión. Esta segunda persona debe encontrarse en la zona y estar pronta para ayudar durante toda la descarga;

*f)* determinación del camino de las tuberías de cloro en la zona, de manera que se reduzca al mínimo el riesgo de daños debidos a colisiones de la cisterna, otros vehículos o equipo móvil.

**Dispositivos de inmovilización**

25. Como se ha indicado en los párrafos 22 a 24, los dispositivos de inmovilización son útiles para impedir que se acerquen otras cisternas, y pueden asimismo formar parte de un sistema destinado a prevenir el movimiento por negligencia de una cisterna que sigue conectada. Por ejemplo, se pueden idear dispositivos de inmovilización para que se tiren a fondo los frenos del vehículo antes de que se conecte la tubería de descarga o para que la presión en la tubería de descarga ponga en marcha una señal de destellos a fin de recordar al conductor que está conectado (este último sistema puede resultar apropiado en una planta de producción o en una planta del consumidor cuando el volumen sea considerable). La maniobra necesaria para colocar al camión cisterna precisamente en relación con un conector de tubería sólida puede dificultar la concepción de un dispositivo de inmovilización que ofrezca la máxima seguridad posible. En esos casos se recomienda

encarecidamente un dispositivo de inmovilización que impida el acceso de otras cisternas, y se debe poner particular cuidado en que el sistema de trabajo impida con eficacia el movimiento accidental de la cisterna y en dar la adecuada formación al conductor.

### Consideraciones relativas al diseño con respecto a la estructura de acceso al punto de descarga

26. Se debe prever un acceso satisfactorio a la tubería permanente para descargar las cisternas de cloro y velar por que las conexiones con las cisternas se efectúen con el mínimo riesgo. Cuando esto implica trabajar desde un lugar situado por encima del nivel del suelo, se debe contar con una estructura permanente, diseñada de tal manera que, en caso de emergencia, sea posible huir con un riesgo mínimo.

27. Se debe disponer de una estructura sólida y no inflamable (por ejemplo de acero) y las plataformas deben estar libres de obstáculos y tener superficies antideslizantes, así como bordes y rampas de protección. Se deben prever otras vías de huida con escaleras de inclinación normal; conviene evitar las escaleras de mano verticales y las escaleras empinadas. Si no es posible evitar las escaleras de mano verticales, hay que asegurarse de que las argollas de seguridad no impidan el acceso a personas que lleven aparatos respiratorios. El diseño de las plataformas móviles que dan acceso a la parte superior de las cisternas debe reducir al mínimo la posibilidad de accidentes debidos a colisión con otras cisternas. Con este fin se puede recurrir a dispositivos de inmovilización.

28. Puede resultar útil proporcionar protección contra la intemperie en pórticos fijos en los puntos de descarga, por ejemplo por medio de rompevientos o toldos.

29. Se debe prever un espacio de almacenamiento adecuado para el equipo de emergencia (por ejemplo, máscaras de gas, equipo de aire comprimido, ropa de protección y equipo de repuesto) en un emplazamiento seguro para que se pueda retirar fácilmente en caso de emergencia.

## Conexiones entre la cisterna y las tuberías fijas en la instalación de almacenamiento

30. Las operaciones de carga y descarga de camiones cisternas están reguladas por el reglamento de 1981 sobre sustancias peligrosas (transporte en camiones cisternas y en contenedores). Las conexiones para el transvase del cloro líquido han de ser muy meticulosamente estudiadas, ya que son la causa más probable de problemas y pueden originar un escape del cloro al medio ambiente. Las tuberías deben ser lo más sencillas posible.

31. Para el transvase al almacén, es necesario conectar la tubería de salida del cloro líquido de la cisterna a la tubería de entrada al depósito y también conectar una fuente de aire seco comprimido, nitrógeno o vapor de cloro a la cisterna.

### Diseño y mantenimiento

32. El fallo de las conexiones de descarga puede deberse a un diseño inadecuado, a materiales o a una construcción incorrectos, al uso inapropiado o a una inspección y mantenimiento insuficientes. Por consiguiente, es esencial asegurarse de que las normas del diseño son adecuadas, que se llevan a cabo procedimientos de prueba e inspección con regularidad y que el equipo se mantiene de manera satisfactoria.

### Tipos de conexión

33. Existen tres tipos de conexión:

*a)* acoplamientos flexibles que garantizan una sólida conexión, pero con un grado de flexibilidad al acoplarse;

*b)* mangueras flexibles;

*c)* brazos articulados.

Normalmente se utilizan acoplamientos flexibles, pero también se pueden emplear mangueras flexibles o brazos articulados por acuerdo con el abastecedor de cloro.

### Acoplamientos flexibles

34. Los acoplamientos flexibles suelen ser de tubería de acero. La flexibilidad se consigue por medio de un acolamiento de la tubería de extensión variable (menos frecuentemente por medio de un serpentín) para dar la posibilidad de un movimiento vertical de la cisterna durante la descarga. Para las conexiones con la cisterna se emplean conexiones roscadas; es común utilizar conexiones roscadas a los dos extremos del acoplamiento flexible.

35. Las tuberías de la instalación conectadas al emplazamiento de la cisterna no deben ser fijas durante

los primeros 5 a 7 metros (15 a 20 pies), pero es necesario que tengan soportes. El soporte utilizado debe garantizar que la tubería se mantenga sobre el espacio libre de encima que requiere la cisterna cuando se está colocando en su sitio. El soporte debe permitir también el necesario movimiento vertical de la tubería de 150 mm (6 pulgadas). Se recomienda una tubería con un diámetro mínimo de 20 mm (¾ de pulgada).

36. Los criterios de diseño de los acoplamientos flexibles construidos con tuberías son análogos a los de la tubería fija (véanse los párrafos 41 a 46). Cuando las conexiones son conexiones roscadas, el obturador debe ser un anillo de junta interceptado.

### Mangueras flexibles

37. Las mangueras flexibles, cuyo diseño debe acordarse con el abastecedor de cloro, exigen unas pruebas más frecuentes que los acoplamientos flexibles descritos en la sección anterior. Las mangueras flexibles duran menos que las tuberías flexibles de acero pero la colocación de las cisternas es más fácil. Se construyen normalmente conexiones de manguera flexible trenzada Monel de hasta 50 mm (2 pulgadas) de tamaño para la descarga de cloro líquido, y de 25 mm (1 pulgada) para la conexión con la cisterna del gas comprimido.

38. Las instrucciones de funcionamiento referentes a la descarga deben prever la realización de una inspección visual y de unas pruebas para detectar escapes de las mangueras flexibles antes de introducir el cloro líquido.

### Brazos articulados

39. Los brazos articulados, con junturas giratorias, se utilizan en ocasiones en las instalaciones de fabricación con una alta producción que quedan fuera del alcance del presente trabajo.

### Procedimientos de funcionamiento y mantenimiento

40. Los procedimientos de descarga deben especificar la necesidad de inspección y pruebas de los acoplamientos antes de su uso; los procedimientos de mantenimiento deben indicar las exigencias de inspección y renovación técnicas. A continuación se resumen los detalles:

a) *Funcionamiento*

   i) Inspección visual, antes del uso, con particular atención a las roscas;

   ii) utilización de nuevos obturadores cada vez que se efectúe una conexión con la cisterna. Los obturadores retirados se deben recoger y eliminar sin correr riesgos, teniendo en cuenta que contienen amianto;

   iii) puesta a prueba de la hermeticidad de la conexión antes de introducir el cloro líquido;

   iv) obturación de las tuberías después de su uso y protección de éstas para reducir la posibilidad de daños accidentales de las roscas y de la penetración de humedad.

   Para un procedimiento habitual, remitirse al apéndice 4.

b) *Mantenimiento*

   i) Se ha de efectuar una inspección técnica por lo menos una vez al año, o cada mil operaciones; se debe llevar un registro de estas inspecciones;

   ii) se han de efectuar recambios con intervalos regulares o siempre que la inspección técnica ponga de manifiesto su necesidad;

   iii) sustitución de las conexiones flexibles para que se sequen, después de la prueba, con aire seco hasta llegar al punto de condensación (−40° C).

## Tuberías para cloro líquido

### Tuberías permanentes en el punto de descarga

41. Las tuberías permanentes en el punto de descarga comprenden:

*a)* Tuberías para presurización de la cisterna con aire seco, nitrógeno o cloro.

*b)* Tubería para el transvase de cloro líquido al depósito.

*c)* Tubería para abastecer de aire comprimido, que funciona con válvulas de control remoto, si éstas se instalan en la cisterna.

Las tuberías deben ajustarse al código de colores y/o etiquetarse; a continuación se describen los requisitos detallados del diseño para las tuberías y los accesorios. En los párrafos 134 a 156 se describe el sistema de descarga del cloro líquido.

**Tuberías para cloro líquido**

42. Las tuberías para cloro líquido deben normalmente tenderse por encima del suelo y garantizar al máximo la protección contra los daños mecánicos, la corrosión y el incendio. Se recomienda un diámetro mínimo de 20 mm (3/4 de pulgada) para garantizar una fuerza mecánica suficiente, y las tuberías deben estar claramente etiquetadas y pintadas de amarillo (véase, por ejemplo, 08E51-BS 4800).

**Criterios de diseño para las tuberías que transfieren cloro líquido a cisternas de almacenamiento o de los depósitos de almacenamiento al punto de uso**

43. Las tuberías deben estar diseñadas, fabricadas, supervisadas y puestas a prueba de conformidad con un código reconocido, por ejemplo BS 3351 o ANSI B31.3 y con cualquier otro requisito adicional indicado en esta sección.

*Presión prevista.* Debe ajustarse a las especificaciones del diseño pero no ser inferior a 12 barg (174 psig), correspondientes a una temperatura prevista de +45 °C. Cualquier parte del sistema que pueda funcionar a una temperatura superior debe proyectarse para que soporte la presión de vapor correspondiente.

Las tuberías deben ser también lo suficientemente fuertes y robustas para cualquier condición de trabajo previsible.

*Temperatura prevista.* Debe ser inferior a la mínima a que se tiene intención que trabaje la tubería o la temperatura a que se enfriará si el cloro líquido hirviera a la presión atmosférica (-35 °C). El campo de temperaturas normal está comprendido entre los -35 °C y los +45 °C.

*Materiales de construcción.* Son preferibles las tuberías estiradas de acero al carbono, pero las tuberías resistentes de soldadura continua soldadas y tratadas para rebajar esfuerzos automáticamente durante la fabricación son aceptables.

Los tubos acodados y en forma de T y los reductores deben estar forjados o moldeados en caliente sin reducción del espesor de la pared.

*Sobrespesor para tener en cuenta la corrosión.* 1 mm.

*Radio de la curvatura de cualquier tubo curvado conformado.* Triple del diámetro mínimo de la tubería (deben utilizarse codos soldados cuando se requieren tubos curvados más rígidos).

*Material para pernos.* Debe ajustarse a los requisitos de BS 4882.

*Aletas.* El número de aletas debe limitarse lo más posible y las utilizadas deben ajustarse a los requisitos de un código de diseño reconocido, como el BS 1560 o ANSI B16-5. El acero empleado para la fabricación de aletas o de conexiones soldadas a la tubería debe ser compatible con el de la propia tubería.

*Obturadores.* Los obturadores deben ser de fibra de amianto comprimido y ajustarse a los requisitos de BS 2815 categoría A, y deben tener adherido un indicador para su fácil identificación en las instalaciones donde se emplean diversos materiales de conexión.

El empleo de materiales incorrectos para los obturadores puede resultar peligroso. La industria debe seguir buscando un material de conexión satisfactorio que no contenga amianto.

44. Durante la construcción se deben realizar los controles siguientes:

*Atenuación de la tensión.* Todos los artículos fabricados y las soldaduras a tope deben estar sometidos a un procedimiento de atenuación de la tensión antes de la inspección y puesta a prueba finales.

*Inspección y puesta a prueba de la presión.* Todas las soldaduras a tope deben examinarse radiográfica o ultrasónicamente a fondo.

Todas las tuberías deben someterse a pruebas de presión de acuerdo con la especificación del diseño. Cuando se efectúan pruebas hidrostáticas es esencial que toda la red de tuberías se limpie y seque totalmente antes de introducir el cloro.

Se deben eliminar todos los aceites, grasas, salpicaduras de metal fundido, cascarillas y demás materia extraña. Si se efectúa un ensayo hidrostático después de la instalación, será necesario cambiar todos los obturadores para garantizar la sequedad. A continuación será preciso efectuar pruebas apropiadas para detectar escapes con el fin de verificar las junturas recién instaladas.

*Modificaciones.* Cualquier ampliación, modificación o reparación de las tuberías debe efectuarse siguiendo una norma por lo menos equivalente a la de las especificaciones originales del diseño y la construcción, con inclusión de la atenuación de la tensión, la inspección y los ensayos.

## Protección de la tubería

***Nota:*** El importante tema de la protección contra la presión excesiva se examina en los párrafos 47 a 53.

45. Las roturas de la tubería pueden deberse a:

*a)* choques;
*b)* incendios (resultantes de una reacción entre el acero y el cloro);
*c)* una fuerte corrosión interna o externa.

46. Las tuberías que transportan cloro deben instalarse de manera que:

*a)* estén a salvo de los choques de vehículos, ya sea por la distancia o gracias a barreras;
*b)* estén protegidas de objetos que caigan (por ejemplo, no debe haber elevadores ni techos construidos con materiales de poco peso);
*c)* estén separadas de tuberías que transporten materiales corrosivos o inflamables u otras fuentes de calor. La separación dependerá de la naturaleza del otro material y de un cálculo del riesgo:
*d)* tengan unos soportes adecuados;
*e)* sean accesibles para el mantenimiento y la inspección;
*f)* de preferencia no estén revestidas y se sometan con regularidad a la inspección bajo cualquier revestimiento con el fin de detectar la corrosión debida a un fallo de la hermeticidad.

## Protección de las tuberías de cloro líquido contra la presión excesiva

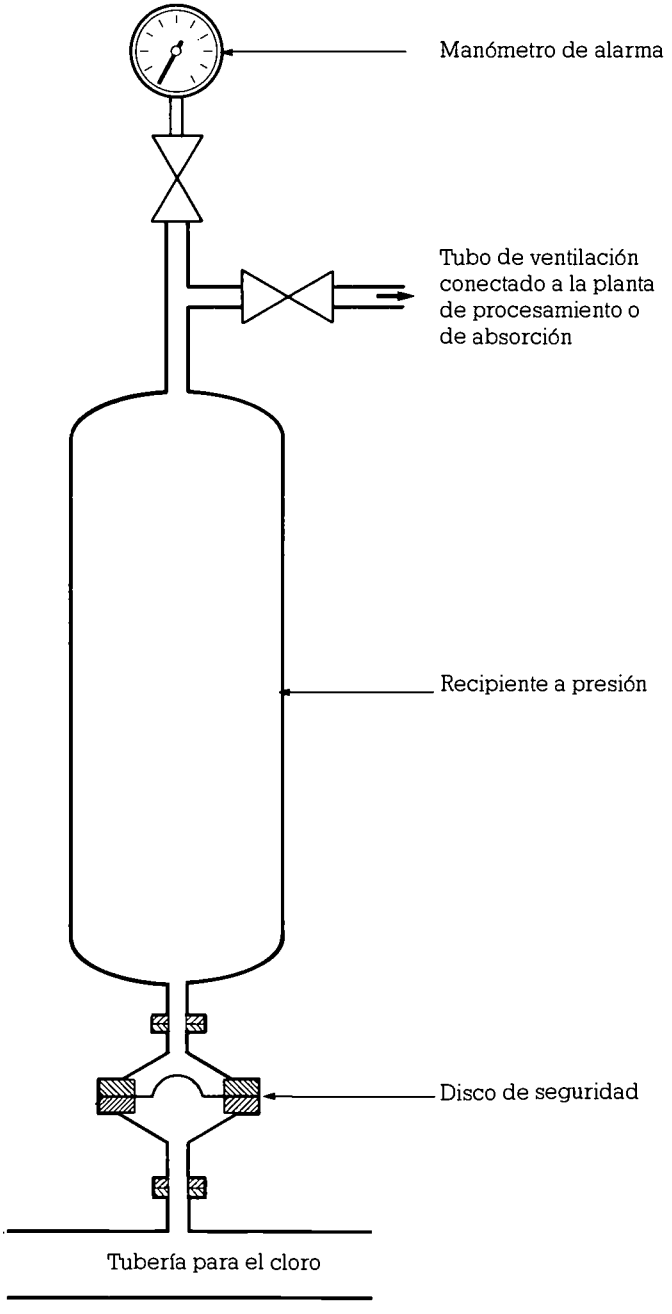
47. La posibilidad de un aumento de la presión en la red de tuberías para el transporte de cloro líquido debido a la expansión térmica del cloro líquido debe tomarse en consideración en todos los casos en que pueda quedar retenido entre válvulas cerradas. Los procedimientos de funcionamiento deben prever esa posibilidad y conviene dar instrucciones adecuadas para reducir al mínimo los riesgos.

48. El riesgo de que el cloro líquido quede retenido entre válvulas cerradas aumenta por causa de los factores siguientes:

*a)* El control por diferentes operarios de las válvulas de aislamiento. Esto puede entrañar un riesgo especial cuando existen tuberías largas o tuberías complejas entre las unidades.
*b)* El cierre simultáneo de tuberías de control remoto instaladas para aislar la planta. Conviene que no haya demasiadas válvulas automáticas que puedan producir la retención. Es preferible utilizar válvulas de control remoto accionadas inicialmente a mano.

La retención de cloro líquido debido a un aumento de la temperatura aumenta el peligro de la presión excesiva. Incluso un pequeño aumento de la temperatura puede ocasionar una presión hidráulica muy elevada debido al alto coeficiente de expansión del cloro líquido.

**Figura 1. Sistema de reducción de la presión para las tuberías de cloro (párrafo 52)**



### Dotación de sistemas de seguridad

49. Los sistemas de seguridad complican las tuberías e introducen otros riesgos potenciales, por lo que en general deben evitarse. Sin embargo, si la capacidad del sistema es tal que una liberación de cloro podría provocar un grave accidente, es necesario prever un medio automático de liberación de la presión excesiva en la tubería. De ahí se deduce que la configuración de las tuberías, la posición de las válvulas y los métodos de cierre de éstas (véase el párrafo 48) han de examinarse para verificar si puede producirse el riesgo.

50. Se recomienda que la instalación de los sistemas de seguridad se examine a fondo con los abastecedores de cloro. No se debe confiar en que las junturas de bridas salten para desahogar la expansión térmica.

### Sistemas de seguridad

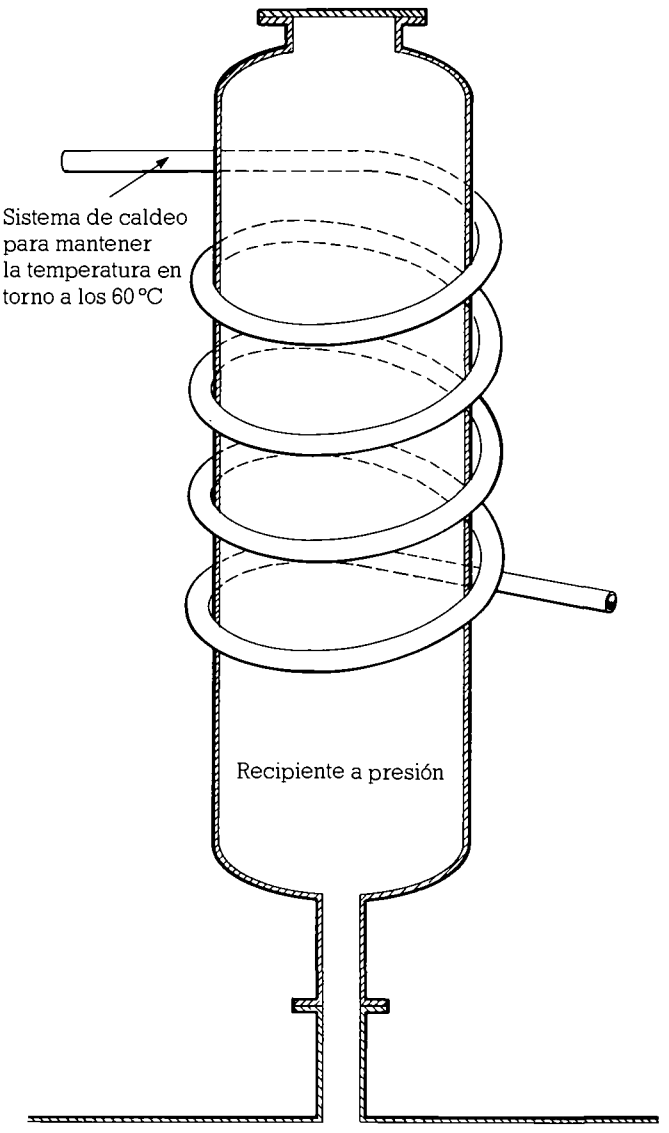
51. Los sistemas de seguridad disponibles para la protección de las tuberías de cloro líquido son los siguientes:

*a)* Instalación de una cápsula de seguridad en la tubería que desagüe en un sistema colector adecuado (véase el párrafo 52).

*b)* Instalación de un depósito de expansión para permitir una fase gaseosa (véase el párrafo 53). Este sistema se considera actualmente desaconsejable debido a las dificultades para determinar si el espacio del gas contiene cloro o gases inertes y, por consiguiente, no se recomienda para nuevas instalaciones.

En ambos casos el volumen de desahogo debe ser por lo menos el 20 por ciento del volumen de la tubería. Cualquier recipiente de expansion debe estar registrado como un recipiente a presión a los efectos de examen y registro.

**Figura 2. Sistema de desahogo de la presión para las tuberías de cloro (no recomendado) (párrafo 53)**




### Cápsulas de seguridad para aliviar la presión de la tubería

52. Las necesidades de este tipo de sistema de seguridad se pueden satisfacer mediante la instalación de una cápsula de seguridad en un tubo en forma de T vertical sobre la tubería que descarga en un recipiente a presión (figura 1). El recipiente a presión debe estar dotado de un sistema de alarma adecuado que funcione al producirse un aumento de la presión en el recipiente si la cápsula de seguridad tiene fugas o se rompe. Se puede entonces dar salida al recipiente y a la tubería al sistema de procesamiento o a un sistema de absorción de cloro.

### Depósito de expansión para reducir la presión de la tubería

53. Un recipiente a presión vertical se puede conectar con un tubo en T en la tubería, como se indica en la figura 2. El recipiente tiene que estar totalmente secado

antes de la instalación. Su sección superior se debe mantener a una temperatura en torno a los 60 °C mediante un sistema termostáticamente controlado y diseñado para evitar la posibilidad de zonas de mayor temperatura. No se deben utilizar cintas calentadoras eléctricas a menos que sean del tipo de compensador térmico. Se debe establecer un aparato de alarma de la temperatura para advertir cuando se produce una temperatura alta o baja. No debe haber ninguna válvula de aislamiento entre el recipiente y la tubería de cloro líquido y el diseño del recipiente tiene que cumplir los requisitos de los recipientes a presión para cloro. Sin embargo, los límites de la temperatura previstos se deben modificar para tener en cuenta las temperaturas más altas eventuales y la presión nominal del sistema debe ser suficiente para soportar la presión del vapor de cloro a la temperatura del recipiente. Este sistema no se recomienda para nuevas instalaciones (véase el párrafo 51, *b)*).

## Válvulas

54. Es esencial elegir con cuidado las válvulas que se han de utilizar en las instalaciones de cloro líquido. Los materiales utilizados en todos los tipos de válvulas deben ser resistentes al cloro y soportar las tensiones a que puedan estar sujetas. El cuerpo de la válvula debe ser de preferencia de acero forjado; el hierro fundido no es aceptable. Si la válvula está diseñada de manera que el cloro líquido pueda quedar retenido dentro del cuerpo cuando la válvula está cerrada, se deben adoptar disposiciones para evitar que se produzca una presión excesiva cuando la temperatura aumenta.

55. Debido a la evaporación del cloro líquido, las temperaturas de funcionamiento se pueden reducir a -35 °C; deben elegirse válvulas que no fallen si esto ocurre. Los problemas específicos del frío o del cloro líquido limitan la aplicación de ciertos diseños de válvula.

56. La elección del tipo adecuado de válvula para cada aplicación debe examinarse con los abastecedores del cloro líquido, que podrán sugerir a los fabricantes de las válvulas qué equipo ha dado satisfacción. Este método reducirá la posibilidad de que se empleen válvulas no satisfactorias que requieran su sustitución después de un breve período y que podrían ser una fuente potencial de peligro.

57. Se ha de insistir en que, durante las operaciones de mantenimiento, no basta con confiar en las válvulas de cualquier tipo que sean para el aislamiento. El diseño del sistema debe permitir el aislamiento completo de la sección de que se trate. Entre los métodos apropiados para lograrlo, cabe mencionar la instalación de piezas de bobina en las tuberías que se puedan retirar y sustituir por obturadores o la inserción de láminas de deslizamiento.

### Tipos de válvula

58. Se han fabricado válvulas de los tipos que se indican a continuación para ser utilizadas con cloro líquido o con gas de cloro seco bajo presión:

*a)* Válvulas esféricas verticales.

*b)* Válvulas de obturación cónicas.

*c)* Válvulas de flotador.

59. Las válvulas tienen que desengrasarse antes de ser utilizadas y deben estar totalmente secas. Se recomienda que, después de este tratamiento, las válvulas se almacenen en sacos de plástico individuales herméticos al gas y que estén listas para la instalación cuando sea necesario.

### Válvulas esféricas verticales

60. Este tipo de válvulas se emplea de preferencia para el aislamiento de tanques de almacenamiento de cloro líquido o para grandes descargas de cloro, mientras que las válvulas esféricas por un lado son particularmente recomendables para instalarse en tuberías de salida de cloro líquido a partir de tanques de almacenamiento de cloro (véase el párrafo 88). La estanqueidad a los gases en torno al vástago de la válvula en las válvulas esféricas puede lograrse por medio de un prensaestopas compacto (empleando de preferencia arandelas o entrantes y salientes curvos de teflón) o mediante el sellado por fuelle. Los fuelles deben estar complementados con un sellado secundario. Resulta ventajoso ajustar válvulas esféricas con un control de dirección para aislar el casquillo de la presión de la tubería cuando la válvula esté totalmente abierta.

### Válvulas de obturación cónicas (con manguitos de teflón)

61. Las válvulas de obturación cónicas con manguitos de politetrafluoretileno (teflón) son satisfactorias para el aislamiento de las tuberías de cloro líquido, particularmente cuando pueda necesitarse un rápido aislamiento, pero es preferible que la válvula de cebado del tanque de almacenamiento sea esférica.

62. Las válvulas de obturación cónicas para ser utilizadas con cloro líquido han de estar diseñadas de manera que eviten los problemas derivados de la retención del cloro líquido en la pared interior cuando la válvula está cerrada. Si se utilizan válvulas unidireccionales, es preciso que estén marcadas con una indicación de la dirección requerida de la corriente del líquido para asegurar una instalación correcta. La hermeticidad a los gases se logra con una manga de teflón insertada en el cuerpo de la válvula y mediante el sellado complementario a lo largo del vástago entre el cuerpo de la válvula y la culata. Se debe poner cuidado en evitar la aplicación de una presión excesiva lateral a los vástagos de las válvulas de obturación.

**Válvulas de flotador**

63. Este tipo de válvulas se puede utilizar para el aislamiento de tuberías de cloro líquido y debe incorporarse de la manera siguiente:

*a)* el torneado esférico se debe limitar a un cuarto de vuelta;

*b)* ribeteado continuo;

*c)* sellos de teflón.

64. Las válvulas de flotador se deben evitar cuando las condiciones de funcionamiento entrañan cambios considerables y frecuentes de temperatura.

65. Las válvulas de flotador para empleo con cloro líquido deben estar dotadas de dispositivos para evitar los problemas derivados de retención de cloro líquido en la parte interior cuando la válvula está cerrada. Si se utilizan válvulas unidireccionales, es preciso marcarlas con una indicación de la dirección requerida de la corriente del líquido para asegurar una instalación correcta.

**Válvulas de control remoto**

66. La velocidad de cierre de cualquier válvula accionada no debe ser tan rápida que provoque aumentos indebidos de la presión en el sistema.

## Recipientes de almacenamiento

67. En estas directrices únicamente se examina el almacenamiento de cloro líquido bajo presión. El almacenamiento de cloro líquido a bajas temperaturas y a baja presión se emplea a veces en las plantas de producción de cloro, pero no resulta apropiado para las instalaciones de consumo.

68. La capacidad de un tanque de almacenamiento de cloro debe ser considerablemente mayor que la capacidad de una carga completa de cloro líquido a partir de un camión o un vagón cisterna. Para reducir al mínimo el peligro de un llenado excesivo, no se recomienda una instalación que esté constituida por tanques más pequeños que requieran la división de las cargas.

69. Solamente se debe recurrir a instalaciones de almacenamiento a granel si el consumo anual de cloro es suficiente para justificar grandes suministros en lugar de comprar el cloro líquido en tambores.

70. Al estudiar el número de tanques de almacenamiento individuales que se necesitan para alcanzar una capacidad de almacenamiento total dada, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

*a)* La dimensión mínima del tanque debe ser adecuada para dar entrada al suministro unitario máximo previsto.

*b)* Si la continuidad del abastecimiento es esencial, se necesitarán por los menos dos tanques a fin de que se disponga del tiempo necesario para las inspecciones y para facilitar el mantenimiento. Asimismo, este sistema permite contar con la posibilidad de una mayor flexibilidad de funcionamiento.

*c)* El aumento del número de tanques de almacenamiento da origen a una ampliación de la planta y el equipo auxiliares con un aumento correspondiente de la complejidad del funcionamiento.

71. La distancia entre los tanques de almacenamiento adyacentes debe ser adecuada para proporcionar un buen acceso a los tanques en cualquier circunstancia, incluso cuando se está utilizando equipo de protección abultado (como las escafandras autónomas).

72. Todos los tanques de almacenamiento de cloro se deben instalar dentro de un muro que sea hermético al cloro líquido. El muro debe poder recibir el contenido del tanque de almacenamiento más grande con una cota de seguridad adecuada y un sumidero o colector. Si existe una subdivisión para crear una sección separada para cada tanque, cada sección debe tener un suelo en pendiente que desemboque en un sumidero, que pueda ser suficiente para más de un tanque. Los sumideros no deben estar conectados a los canales de desagüe. Se debe prever la eliminación del agua de lluvia por encima del muro, no por medio de canales de desagüe o de válvulas instaladas en el muro.

73. Como los escapes de cloro líquido son potencialmente más peligrosos que los escapes de cloro gaseoso, el sistema tiene que estar diseñado de manera que las fuentes de escape del líquido se reduzcan a un mínimo. Una de las principales maneras de lograrlo consiste en evitar que las junturas estén expuestas en forma constante al cloro líquido (por ejemplo, normalmente no se deben instalar vertederos de fondo; véase el párrafo 78); de ese modo, los escapes serán sólo de gas.

74. La gravedad de un escape se reduce disminuyendo la presión dentro del sistema y por consiguiente, conviene disponer de instalaciones para la transferencia del cloro gaseoso a un proceso de consumo o a una planta de absorción del cloro de desecho cuando se está transfiriendo el cloro.

75. Los depósitos de almacenamiento de cloro deben construirse sobre el suelo. No se recomienda la instalación en pozos profundos debido a que aumenta las dificultades de tratamiento y dispersión de un escape de cloro y del acceso para las actividades de mantenimiento o reparación.

76. La disposición de la zona debe proyectarse de manera que proporcione todas las instalaciones necesarias para mantener un buen orden y limpieza; se necesita un amplio espacio para almacenar el equipo de mantenimiento y seguridad, que ha de ser de fácil acceso en caso de emergencia.

77. Normalmente no se requiere el aislamiento térmico de los tanques de almacenamiento. Sin embargo, si el recipiente funciona a baja temperatura y se requiere un forro calurífugo, el material debe ser ignífugo, químicamente inerte al líquido o al cloro gaseoso y resistente a la penetración de humedad atmosférica.

**Criterios de diseño**

78. A continuación se indican los criterios de diseño relativos a los nuevos depósitos de cloro líquido y recipientes de expansión.

*Presión prevista.* 12 barg (174 psig) como mínimo.

*Temperatura prevista.* Cuando el cloro líquido se evapora a la presión atmosférica su temperatura disminuye a -35 °C y, por tanto, la temperatura mínima prevista no debe ser superior. Los límites normales previstos son de -35 °C a +45 °C.

*Coeficiente de llenado.* Los coeficientes de llenado de los contenedores de líquido transportable se indican de manera detallada en BS 5355:1976 para diversos tamaños de contenedores y diferentes temperaturas. Aunque no existe ninguna norma equivalente para los depósitos fijos, por razones de simplicidad normalmente se utiliza una cifra de 1,25 kg de cloro líquido/litro de capacidad. De este modo, el volumen de cloro líquido no excede del 95 por ciento del volumen total del recipiente, incluso a una temperatura máxima de 50 °C.

*Código de diseño.* Los nuevos recipientes se deben diseñar y fabricar de acuerdo con la BS 5500 categoría 1 (o una norma equivalente).

*Sobrespesor para tener en cuenta la corrosión.* Mínimo 1 mm.

*Soportes.* Los soportes del recipiente deben estar diseñados de conformidad con el código de diseño para permitir la expansión o contracción térmica dentro de los límites de temperatura previstos. Es preciso prestar particular atención cuando se utilizan indicadores de carga para determinar el contenido del tanque o depósito.

*Derivaciones.* Las dimensiones deben limitarse al mínimo requerido, particularmente para las tuberías que transportan líquido. Siempre que sea posible, todas las derivaciones deben montarse en la tapa o tapas de registro. En la parte superior del recipiente debe preverse el acceso a través de una tapa de registro. Conviene que la abertura sea preferentemente de 600 mm de diámetro, pero en ningún caso ha de ser inferior a 460 mm de diámetro.

Sólo se deben prever vertederos de fondo cuando sean necesarios para transferir el cloro por bombeo. Todo vertedero de fondo debe tener una válvula interna, de preferencia manejable a distancia, y una válvula de aislamiento de reserva (véase el párrafo 89).

*Pernos.* Deben ajustarse a los requisitos de BS 4882.

*Obturadores.* Deben ser de fibra de amianto comprimido y ajustarse a los requisitos de BS 2815 categoría A, y estar dotados de una etiqueta para su fácil identificación en las instalaciones cuando se emplean diversos materiales de conexión.

El uso de materiales incorrectos para los obturadores puede resultar peligroso.

*Documentación.* Se debe utilizar como referencia el certificado de cumplimiento BS 5500 (o una documentación análoga si se emplean otras normas), junto con otros documentos relativos a la integridad mecánica.

79. El párrafo 78 se aplica a los nuevos sistemas diseñados y construidos de conformidad con la norma vigente. Cuando se dispone de un tanque que se ajusta a una norma diferente, los sistemas se deben evaluar de conformidad con los requisitos de esas normas de origen. En particular, si la presión de trabajo admisible al recipiente es inferior a 12 barg (174 psig), será necesario modificar la presión del sistema de aire, los dispositivos de seguridad, etc., en consecuencia, y habrá que disponer el sistema de abastecimiento de modo que pueda funcionar en las condiciones del tanque de almacenamiento.

**Conexión de las tuberías y medio de aislamiento de los tanques de almacenamiento**

80. Las conexiones con los tanques de almacenamiento son las siguientes:

*a)* entrada del cloro líquido;

*b)* salida del cloro líquido;

*c)* tuberías de ventilación y tuberías de gas seco comprimido;

*d)* sistema de seguridad;

*e)* instrumentos y medidores de presión.

81. El número de conexiones se debe reducir a un mínimo para disminuir las fuentes potenciales de escape. La colocación de las válvulas y de las tuberías debe efectuarse de la manera más sencilla posible para reducir al mínimo los errores de funcionamiento. Las válvulas de aislamiento deben ajustarse directamente a las derivaciones sobre la tapa o el tanque con el fin de que cualquier tubería conectada a las derivaciones o a las conexiones en T pueda quedar aislada. El sistema debe estar diseñado de forma que, si las junturas entre las válvulas y los tanques de almacenamiento fallan, sólo se libere cloro gaseoso. Por ejemplo, cualquier tubería que termine por debajo de la superficie del líquido debe emerger a través de válvulas montadas en la pared del tanque por encima del nivel del líquido y la tubería debe ajustarse al cuerpo de la válvula dentro del tanque (véase el párrafo 88).

82. Todas las válvulas y tuberías asociadas con tanques de almacenamiento de cloro deben estar etiquetadas y ajustarse al código de colores.

83. Siempre que se instalen dos válvulas en serie para conseguir al aislamiento, se recomienda que el sistema de funcionamiento se proyecte de manera que cada válvula se utilice exclusivamente por un período determinado durante el funcionamiento normal. De este modo ambas válvulas se mantienen en estado de funcionamiento todo el tiempo.

84. En la figura 3 se indica esquemáticamente una aplicación de los principios de esta sección. No todas las instalaciones corresponderán a este esquema y podrán resultar apropiadas variaciones (algunas de las cuales se describen en el texto).

**Entrada de cloro líquido**

85. La entrada de cloro líquido no debe normalmente penetrar en el tanque más allá del nivel máximo del líquido. El empleo de un sifón invertido en la tubería de entrada podría provocar el regreso del cloro líquido si la tubería de llenado falla; esta posibilidad se evita mediante el empleo de una tubería de entrada corta en la parte superior del tanque o, alternativamente, taladrando la parte superior del sifón invertido para que no regrese el líquido descargado. Cabe incorporar un sifón invertido como entrada a un recipiente para la carga y descarga, pero en ese caso debe estar dotado de los controles adicionales apropiados para una entrada de cloro líquido.

86. La válvula de aislamiento de la tubería de entrada del cloro, directamente atornillada a la brida del tanque de almacenamiento, debe ser de preferencia una válvula esférica.

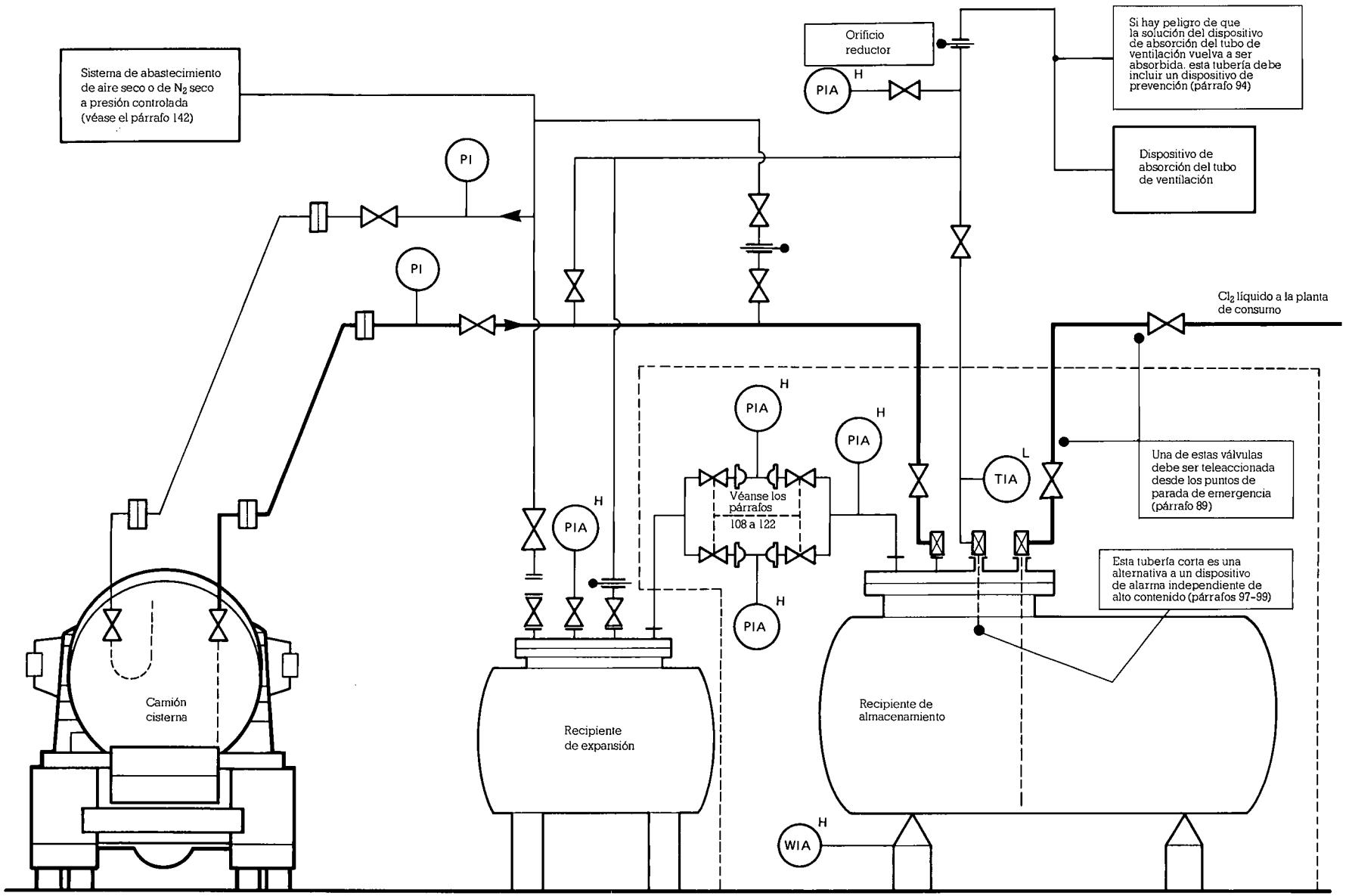
87. Se debe instalar una válvula de seguridad que se pueda maniobrar a distancia. Como alternativa, cabe instalar la válvula teleaccionada y una válvula de aislamiento de reserva.

**Salida de cloro líquido**

88. La extracción del cloro líquido del tanque de almacenamiento se efectúa por medio de un sifón invertido cuya disposición debe garantizar que el cloro líquido no pueda escaparse, en caso de que falle la juntura entre la válvula de aislamiento y el tanque de almacenamiento. La forma mejor de lograrlo en una planta nueva consiste en utilizar una válvula esférica por un lado, enroscada a la derivación embridada del tanque de almacenamiento, enroscándose el sifón invertido a la parte inferior de la válvula.

89. La válvula principal de aislamiento debe estar apoyada por una válvula adicional para que se pueda conseguir el aislamiento si una sola válvula no consigue la hermeticidad con eficacia. Según la disposición de las

**Figura 3. Ejemplo de los dispositivos de los tanques de cloro que descargan en recipientes de almacenamiento de cloro líquido (párrafo 84)**




*Nota:* No todas las instalaciones seguirán este esquema.

tuberías locales, se recomienda la instalación de una o más válvulas teleaccionadas para un control de urgencia. Una válvula teleaccionada, diseñada para aportar un aislamiento positivo y que esté adecuadamente colocada puede también actuar como una de las dos válvulas de aislamiento más arriba indicadas.

90. Además, se recomienda encarecidamente que la corriente en la tubería que comunica con la planta de consumo se limite al máximo que necesita el proceso; esto se puede conseguir mediante la incorporación en la tubería de una válvula de control del flujo excedente o de un orificio. El objeto de este dispositivo limitador de la corriente consiste en que el volumen de un escape debido a una ruptura importante se pueda reducir a menos de la corriente sin reducción en la sección de paso a través de la tubería. No se instala necesariamente para reducir la corriente hasta la exigencia máxima del proceso, cuando este máximo puede ser tan pequeño que produzca otros problemas de mantenimiento, como la tendencia del orificio a bloquearse, etc. No se recomienda que la válvula o el orificio para reducir la corriente excesiva estén situados dentro del tanque en el propio sifón invertido, debido al problema que plantearía la extracción del cloro líquido del tanque si se produjera el agarrotamiento de la esfera o el bloqueo del orificio. En algunas plantas, el reductor de corriente puede ser sustituido por un sensor de corriente o de presión adecuado que ponga en marcha válvulas de cierre teleaccionadas (véase al párrafo 104). Las válvulas para reducir el exceso de corriente pueden ser aconsejables para tuberías en las que normalmente la corriente de cloro es muy inferior a la corriente que podría pasar si se produjera una avería. No son adecuadas para tuberías en que la magnitud del flujo normal es elevada, para las que se deben utilizar otros medios de detección de averías y de aislamiento de la corriente.

**Tuberías de ventilación y de gas seco comprimido**

91. Es posible conectar tuberías de ventilación y tuberías de gas seco comprimido al tanque de almacenamiento, por medio de entradas separadas o de una única entrada combinada. En ambos casos, la válvula conectada directamente al tanque de almacenamiento debe estar complementada con una segunda válvula.

92. Para que el volumen de líquido en el tanque de almacenamiento se limite al autorizado por el coeficiente de llenado, cabe enroscar una tubería de mermas a la parte inferior de la válvula en la tubería de ventilación. La longitud de esta tubería de mermas es tal que, si el cloro líquido se eleva por encima del nivel correcto, desaguará a través de la tubería de mermas. La tubería de mermas debe verificarse cuando se efectúa la inspección de rutina de la instalación de almacenamiento. A la tubería de ventilación de los tanques de almacenamiento se le puede acoplar un dispositivo de indicación de baja temperatura u otro dispositivo de alarma para que avise si el cloro líquido está entrando en la tubería de mermas instalada en la tubería de ventilación.

93. El procedimiento para transferir cloro líquido a los tanques de almacenamiento debe incluir una válvula de ventilación que se abrirá ligeramente al final de la descarga para verificar si el tanque no se ha llenado en exceso (véase el procedimiento normal en el apéndice 4).

94. La prevención de que la solución acuosa vuelva a ser absorbida por la tubería de ventilación impone la necesidad de precauciones análogas a las descritas con respecto a los vaporizadores (véanse los párrafos 184 a 186). La prevención de la retrodifusión de la humedad se describe en los párrafos 205 a 207.

**Sistema de seguridad**

95. Los requisitos especiales relativos a las válvulas de aislamiento situadas en el sistema de desahogo de la presión de los tanques de almacenamiento se describen en los párrafos 111 a 115.

**Instrumentos**

96. Los instrumentos de control de los tanques de almacenamiento y de otros dispositivos de la instalación deben, siempre que sea posible, diseñarse a prueba de fallos. El equipo eléctrico y electrónico, a menos que esté especialmente protegido contra la corrosión, no debe colocarse en zonas donde pueda ser afectado por escapes de gas.

97. La cantidad de cloro líquido en cada tanque o cisterna de almacenamiento es preferible determinarla instalando el tanque sobre dispositivos para medir la carga o sobre básculas puente. El peso del cloro líquido de cada tanque debe indicarse en el emplazamiento y puede repetirse en la sala de control de la planta. Los dispositivos de medición del contenido deben estar dotados de alarmas. Por razones de seguridad se exige una alarma de contenido elevado en la sala de control (y en las plantas complejas, probablemente una alarma de contenido extraelevado).

***Nota.*** La alarma de contenido extraelevado aporta escasa seguridad, a menos que funcione independientemente del sistema que da la alarma en caso de alto contenido.

98. Una alarma de bajo contenido puede ser útil por razones operativas y puede tener repercusiones en la seguridad si, por ejemplo, un fallo del suministro de cloro o el paso de aire de relleno al recipiente de salida pueden provocar una perturbación del proceso.

99. Los indicadores del contenido independientes deberían normalmente ser instrumentos, pero en una instalación sencilla, con un buen equipo y un buen mantenimiento en los tanques, la alarma del contenido extraelevado puede consistir en una tubería corta para medir mermas instalada sobre el ventilador del vapor. Si se hace caso omiso de una alarma de alto contenido mientras se llena la cisterna, el líquido alcanza la parte inferior de la tubería de merma y se evapora en la tubería de ventilación situada encima de la válvula de cierre de la ventilación, produciendo la congelación de la tubería.

100. Es necesario proyectar procedimientos regulares de verificación e inspección y llevar registros adecuados de los resultados.

101. Como alternativa de la medición de la cantidad de cloro líquido por el peso, la medición del nivel del líquido en los tanques es también aceptable. Sin embargo, la selección del equipo adecuado es difícil y debe examinarse con el abastecedor del cloro.

102. La presión en los tanques de almacenamiento del cloro se mide por medio de indicadores especialmente concebidos para ser utilizados con cloro líquido; esos indicadores tienen membranas de plata o tantalio. Los indicadores deben estar absolutamente desengrasados antes de ser utilizados y posteriormente se deben poner a prueba utilizando sólo aire comprimido limpio, seco y sin lubricante. Los indicadores de presión pueden estar dotados de conmutadores para dar la alarma si la presión supera o queda por debajo de un valor preestablecido. Como alternativa, pueden emplearse interruptores automáticos para dar una señal independiente de las alarmas de alta y baja presión.

103. El aire de un edificio que alberga cisternas de almacenamiento de cloro debe vigilarse de modo constante para detectar cualquier escape de cloro, particularmente en las plantas de funcionamiento sin operador (véase el párrafo 251). Un mantenimiento regular y eficiente es esencial para mantener ese equipo de vigilancia en estado de funcionamiento eficaz, en especial en plantas como las dedicadas al tratamiento del agua, que suelen funcionar sin operador pero son vigiladas por telemetría. Los detectores deben estar regulados aproximadamente al límite de exposición recomendado de 1 ppm.

104. Cuando se hace referencia a válvulas de paso o a válvulas «que manejan» sensores de presión (párrafo 90 *supra*), queda por decidir si el funcionamiento es automático o con intervención manual. En los dos extremos, el funcionamiento debe ser automático en una planta sin operadores y puede ser indirecto en una planta dotada de buenos instrumentos con una sala de control y personal constantemente presente.

105. En los párrafos 108 y 116 a 122 se hace referencia a los instrumentos relacionados con un sistema automático de alivio de la presión.

## Protección de los recipientes de almacenamiento contra la presión excesiva

106. La adopción de las recomendaciones que ya se han indicado en estas directrices reducirá a un mínimo el riesgo de presión excesiva en los tanques de almacenamiento de cloro líquido. Si el recipiente está excesivamente lleno de cloro líquido se da la alarma en el sistema de peso utilizado para determinar el contenido de cloro líquido de los tanques de almacenamiento (párrafos 97 a 101) o mediante el uso de una tubería de merma en el respiradero dotada de una alarma para advertir de la entrada de cloro líquido en el sistema de ventilación (párrafo 92). La presión excesiva en el suministro de aire comprimido o nitrógeno al tanque de almacenamiento se previene mediante la instalación de una válvula de desahogo en el recipiente de almacenamiento del gas comprimido (párrafo 142). La presión excesiva en el tanque de almacenamiento de cloro líquido se indica por medio de una alarma de alta presión (párrafo 102).

107. Como última salvaguardia, los tanques de almacenamiento tienen que estar protegidos por medio de un adecuado sistema de desahogo automático que limite la presión al valor previsto.

### Sistema de desahogo

108. Para proteger los tanques de almacenamiento del cloro líquido, el sistema preferido de desahogo de la presión consiste en dos cápsulas de seguridad adosadas. Puede utilizarse una válvula de desahogo detrás de una cápsula de seguridad, pero este método está siempre sujeto al peligro de corrosión de la válvula de desahogo.

La protección de la válvula de desahogo contra la corrosión debe estudiarse meticulosamente si se recurre al sistema de cápsula de seguridad-válvula de desahogo. No se recomienda el empleo de válvulas de desahogo solas debido a la corrosión o al bloqueo que se podría producir si la válvula estuviera expuesta de modo constante al cloro. Sea cual sea el sistema utilizado, debe haber siempre una alarma de presión y un indicador entre las dos cápsulas o entre la cápsula y la válvula de desahogo (véase el párrafo 122). Con el último método, es preciso retirar la válvula de desahogo y examinarla siempre que se sustituya la cápsula de seguridad.

109. La tubería de descarga del sistema de desahogo de la presión penetra en un recipiente de expansión cerrado (salvo con unos pocos dispositivos especializados). Cualquier presión en el recipiente de expansión o entre los componentes del sistema de desahogo reduce la protección dispensada al recipiente de almacenamiento (véanse los párrafos 119 y 120).

**Cápsulas de seguridad**

110. Las cápsulas de seguridad (que están diseñadas para que dejen de funcionar a la presión o por debajo de la presión prevista de los tanques de almacenamiento) se suelen fabricar de níquel, aunque cabe utilizar el tantalio, la plata o cualquier otro material compatible. No se recomienda el grafito sin revestimiento. Las cápsulas deben elegirse con cuidado para el campo de temperaturas de funcionamiento, teniendo en cuenta que la presión de ruptura depende de la temperatura, y deben ajustarse a la norma BS 2915 (u otra norma equivalente).

**Disposiciones relativas al sistema de desahogo**

111. En instalaciones muy sencillas (normalmente las constituidas por un único recipiente de almacenamiento y un recipiente de expansión conexo), puede utilizarse el sistema de una única cápsula de seguridad sin ninguna válvula de aislamiento, instalándolo directamente en el recipiente de almacenamiento. En la práctica es más conveniente establecer un dispositivo con válvula que ofrezca la posibilidad de sustituir las cápsulas con arreglo a un sistema de trabajo controlado sin la necesidad de vaciar y purgar completamente el circuito. Cuando dos o más recipientes de almacenamiento comparten un recipiente de expansión, se deben tomar disposiciones para que sea posible sustituir las cápsulas con rapidez y dar salida a toda la presión excesiva del recipiente de expansión.

112. Los dispositivos preferidos se indican en las figuras 4 y 5. Las válvulas de aislamiento pueden estar individualmente inmovilizadas o pueden estar mecánicamente interconectadas, con el fin de que un par de cápsulas sea siempre operativo. Las cápsulas de seguridad deben ser del tipo convexo sencillo sin soportes con el lado cóncavo de cara a la fuente de presión. Las etiquetas de identificación deben quedar colgadas de cada cápsula con el fin de que se pueda determinar si se han instalado de manera correcta. En las instalaciones más antiguas existentes, a menudo es frecuente la instalación que se presenta en la figura 6. La disposición indicada en la figura 4 o en la figura 5 debe utilizarse en todas las nuevas instalaciones y debe examinarse la posibilidad de utilizarla en las instalaciones existentes cuando se van a efectuar modificaciones importantes.

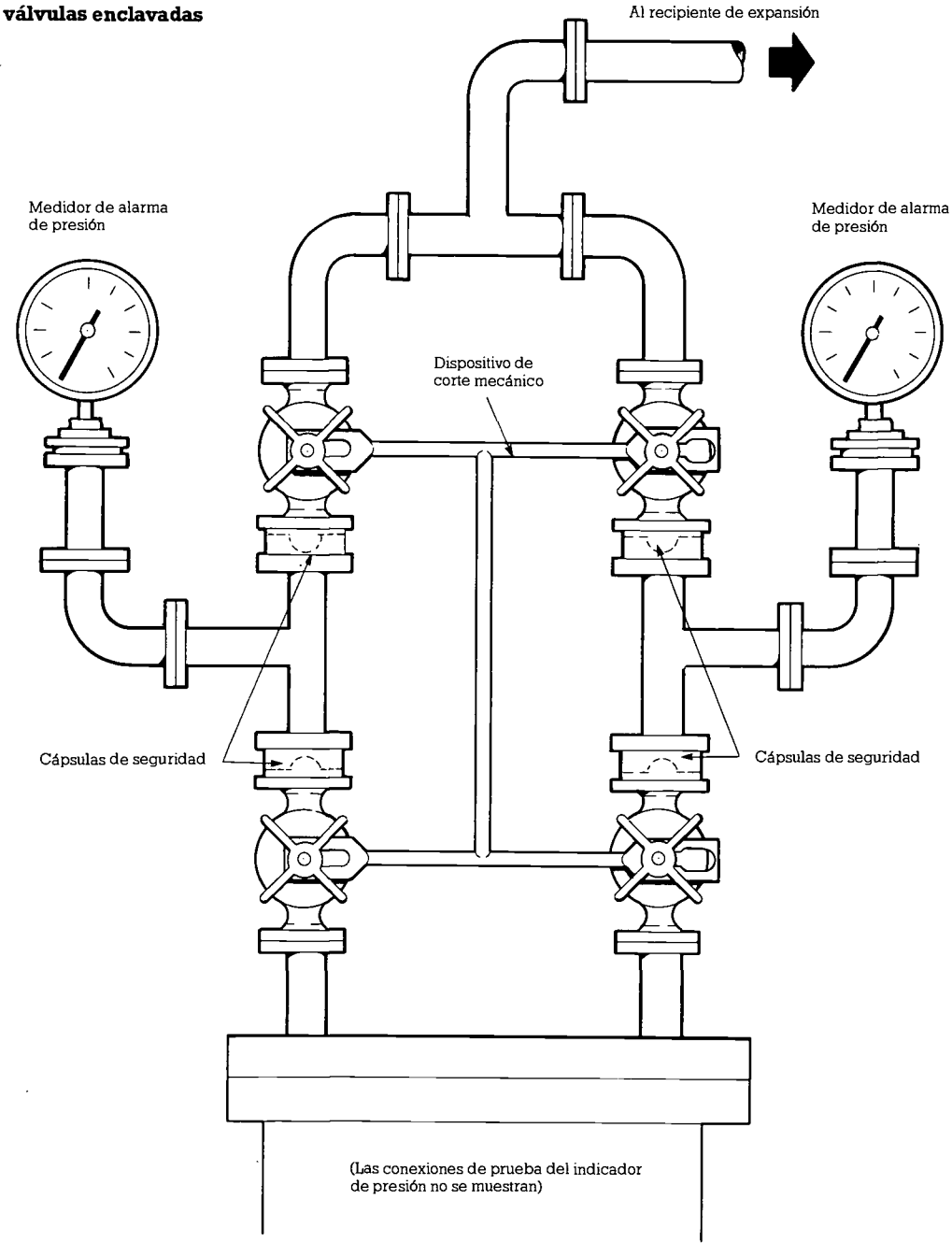
113. Las válvulas que quedan abiertas deben permitir que los dispositivos de funcionamiento descarguen al ritmo requerido en el recipiente de expansión. Las tuberías situadas antes de las válvulas de aislamiento deben ser lo más cortas y sencillas que sea posible para reducir al mínimo el riesgo de escapes de cloro de las junturas y de las tuberías; las válvulas de aislamiento situadas antes de las cápsulas de seguridad deben de preferencia estar directamente ajustadas a conexiones de bridas colocadas sobre la tapa de los tanques de almacenamiento.

114. Los procedimientos que se han de seguir en caso de producirse una falla de una cápsula de seguridad deben estar claramente definidos y basarse en el principio de que en ningún momento debe un recipiente estar encajonado de manera que se pueda acumular una presión inaceptable. Los procedimientos pueden variar según el diseño de la planta, pero deben estar establecidos por escrito e incluir unas prácticas de trabajo seguras para la retirada del recipiente del servicio normal, la estabilización de la presión, el cambio de las cápsulas de seguridad, el desahogo del tanque de expansión y la restitución del recipiente al uso normal.

**Sistema de mantenimiento**

115. En cualquier instalación dotada de una válvula de aislamiento con cerradura abierta que esté colocada antes de una cápsula de seguridad, se determinará un sistema seguro de trabajo que garantice hasta donde sea razonablemente factible que no podrá acumularse ninguna presión inaceptable de ninguna fuente en el recipiente mientras esté cerrada la válvula de aislamiento.

**Figura 4. Sistema de desahogo de la presión (dispositivo preferido). Doble corriente con válvulas enclavadas**




Esos sistemas de seguridad variarán según el diseño de la planta, pero deben:

*a)* estar establecidos por escrito, ser claros y fácilmente utilizables;

*b)* incluir un sistema de permiso para trabajar;

*c)* estar incluidos en los programas de capacitación del personal de la planta;

*d)* estar supervisados de forma adecuada, con responsabilidades netamente definidas;

*e)* ser actualizados con regularidad, en particular cuando se modifiquen el diseño de la planta, los procedimientos de explotación o los sistemas de gestión, y

*f)* ser respetados estrictamente.

### Recipientes de expansión

116. Los requisitos del diseño relativos a la construcción del recipiente de expansión son análogos a los de los tanques de almacenamiento; su capacidad debe ser aproximadamente el 10 por ciento de la del mayor recipiente de almacenamiento.

117. Debe ser posible dar salida manualmente al contenido del recipiente de expansión a un sistema de absorción.

118. La instalación de almacenamiento ha de vaciarse de cloro líquido durante la inspección y el mantenimiento del recipiente de expansión, a menos que se hayan previsto otros medios para liberar la presión.

119. El recipiente de expansión debe estar dotado de un detector de la presión para dar la alarma si la presión se acumula en el recipiente. Es preciso que el sistema de alarma sea puesto a prueba con regularidad para garantizar que es utilizable (véase el párrafo 122).

120. La conexión del aire comprimido o el nitrógeno con el recipiente de expansión debe ordenarse de manera que se evite la posibilidad de presurización del recipiente por descuido. Esto se puede lograr mediante la desconexión física, chapas de cierre de aislamiento o válvulas dobles de bloqueo apoyadas por sistemas de trabajo seguros. Si un recipiente de expansión presta servicios a más de un recipiente de almacenamiento, se deben adoptar disposiciones para que se reaccione con prontitud a una señal de alarma de presión.

121. Aunque el peligro de que el recipiente de expansión esté presurizado excesivamente con cloro es mínimo debido a las precauciones antes descritas, se deben convenir con el abastecedor de cloro y el organismo de seguridad e higiene (inspección de la contaminación del aire industrial e inspección de fábricas) los procedimientos o medios mecánicos para asegurarse de que esto no pueda suceder.

### Alarmas de la presión

122. En cada recipiente de almacenamiento debe haber una alarma de alta presión y en el dispositivo de desahogo de cada emplazamiento importante de seguridad debe haber un indicador/alarma adicional de presión. Esto significa que una alarma adicional de la presión puede bastar en una instalación en que cada recipiente de almacenamiento tiene su propio recipiente de expansión, y que la alarma puede estar colocada en la tubería de desahogo (si existe una única cápsula de seguridad) o sobre el recipiente de expansión. Cuando un único recipiente de expansión presta servicios a varios recipientes de almacenamiento, debe haber una alarma de presión adicional en cada conjunto de desahogo y también otra en el recipiente de expansión.

## Inspección y puesta en servicio de las instalaciones de tanques de cloro

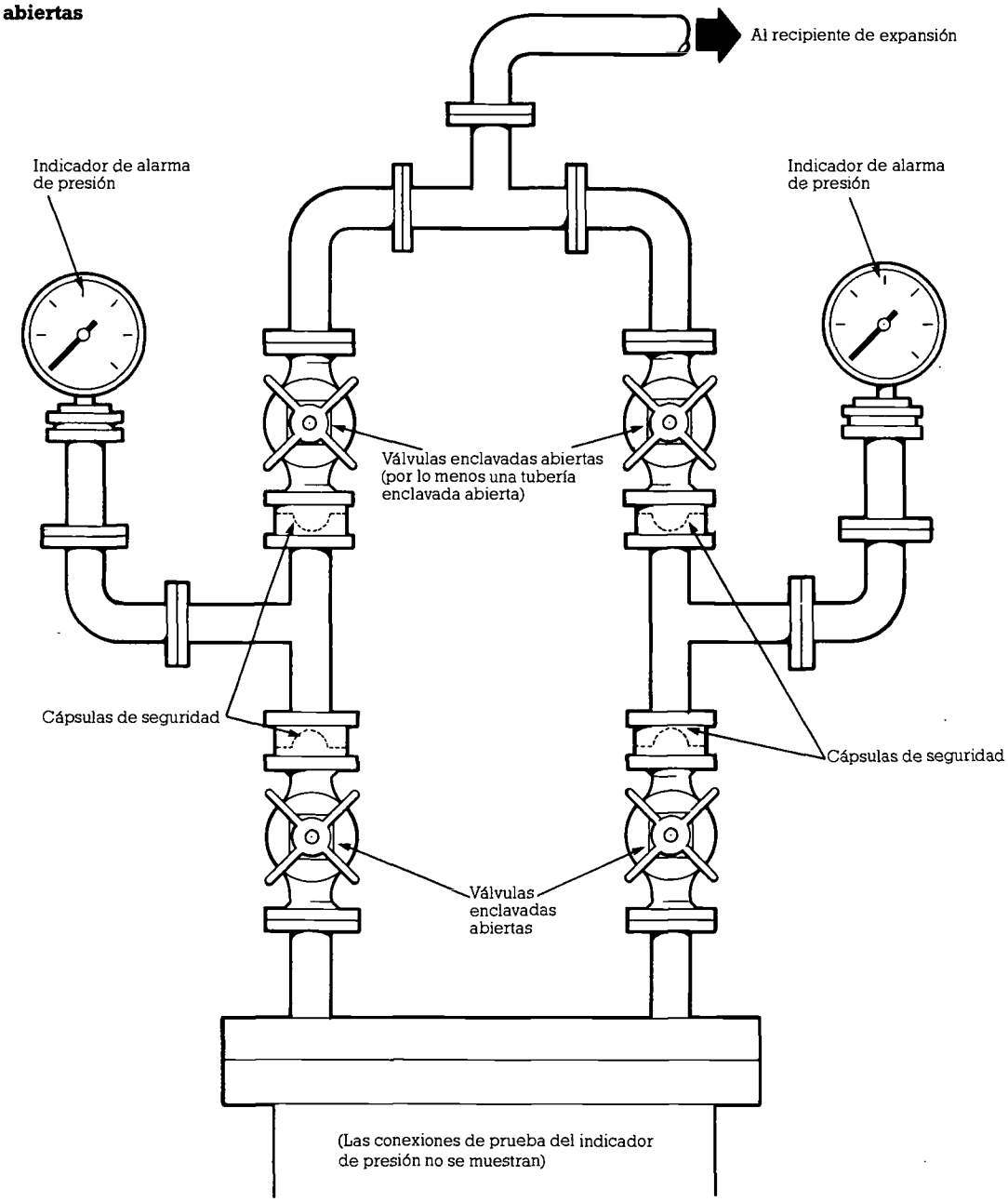
### Consideraciones generales

123. La inspección, las pruebas y la puesta en servicio incumben al consumidor de cloro y deben ser organizadas y controladas por él. Los abastecedores de cloro del Reino Unido en principio proporcionan asesoramiento si se lo solicitan y visitan la planta antes de que entre en servicio, dado que sólo suministran cloro si consideran la instalación satisfactoria. El instalador del equipo tiene asimismo las responsabilidades indicades en el artículo 6 de la ley sobre seguridad e higiene en el trabajo, etc.

124. La inspección inicial y las pruebas deben realizarse de conformidad con las especificaciones del diseño (véase el párrafo 78). El primer examen completo de servicio de un recipiente especificado para contener cloro líquido debe estar a cargo de una autoridad de inspección competente y llevarse a cabo en un plazo de cinco años a partir de la puesta en servicio. La autoridad de inspección debe determinar la frecuencia de los nuevos exámenes completos que se efectuarán con posterioridad y anotarla en el certificado de examen completo. El intervalo no debe exceder normalmente de cinco años. Una persona competente para llevar a cabo un examen de ese tipo debe tener los conocimientos, la experiencia y los recursos necesarios para buscar, detectar y evaluar defectos particulares relacionados con las instalaciones que contienen cloro. Los recursos deben incluir el acceso a instalaciones de laboratorio y prueba no destructiva apropiados, junto con la capacidad técnica profesional para establecer una relación entre las conclusiones de la inspección y la evaluación de la integridad del recipiente, los parámetros de seguridad del trabajo y el uso futuro.

125. La autoridad de inspección debe determinar el alcance del examen a fondo e incluirá cualquier ensayo no destructivo que considere apropiado. El certificado de examen a fondo debe especificar todas las técnicas de inspección y ensayo utilizadas y contener detalles específicos de cualquier deterioro hallado en el recipiente o en los recipientes auxiliares.

**Figura 5. Sistema de desahogo de la presión. Doble corriente con válvulas enclavadas abiertas**




126. En los tanques calorifugados, se debería suprimir el forro calorífugo suficiente para poder determinar el estado de la superficie exterior del tanque.

127. Normalmente no se recomiendan las pruebas hidrostáticas periódicas. Sin embargo, son esenciales si se efectúa alguna modificación en los recipientes de almacenamiento. Esas modificaciones requieren la aprobación de una autoridad de inspección.

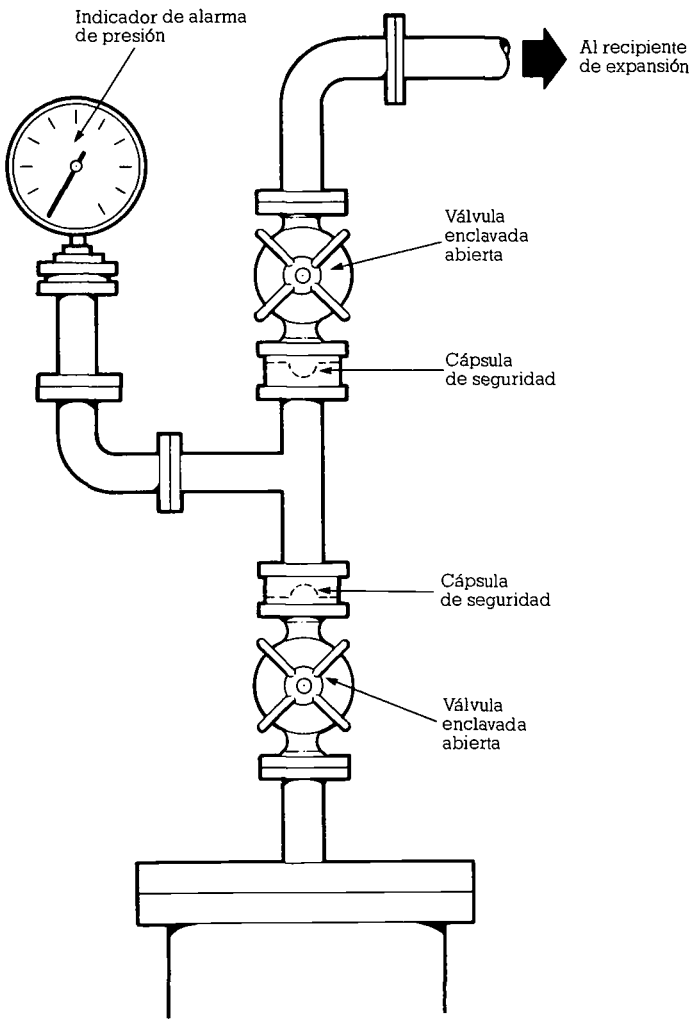
128. La autoridad de inspección debe evaluar si se puede continuar utilizando el recipiente para contener cloro, con respecto a:

las presiones de trabajo máximas y mínimas admisibles;

las temperaturas de trabajo máximas y mínimas admisibles;

y las cargas de trabajo admisibles en los soportes y los cimientos.

**Figura 6. Sistema de desahogo de la presión. Una única corriente con válvulas enclavadas abiertas**




Esa información debe anotarse en el certificado de examen a fondo, junto con la última fecha para el próximo examen.

## Procedimiento de inspección

*Preparación de la inspección interna*

129. Antes de abrir el recipiente de almacenamiento para la inspección, es preciso vaciarlo del cloro líquido y limpiarlo para eliminar todo rastro de cloro. Los procedimientos para hacerlo deben estar indicados con precisión en las instrucciones de funcionamiento y normalmente incluyen las actividades siguientes:

*a)* desconexión de todas las tuberías conectadas al recipiente mediante la retirada u obturación de las canillas;

*b)* la retirada de la tapa y el llenado del recipiente con agua a la que se ha añadido carbonato sódico;

*c)* la extracción por aspiración del agua y la verificación de la atmósfera en el recipiente con respecto al contenido de cloro y oxígeno;

*d)* la inspección interna del recipiente controlado de conformidad con las condiciones estipuladas en la nota de orientación de HSE GS 5, *Entry into confined spaces.*

*Reensamblaje después de la inspección*

130. Estos procedimientos incluyen las operaciones siguientes:

*a)* secado a fondo del recipiente con aire seco o nitrógeno y retirada y sustitución de las junturas de todas las conexiones con el recipiente;

*b)* reajuste de la tapa;

*c)* presurización del recipiente con aire seco y medición del punto de rocío del aire liberado;

*d)* presurización sucesiva con aire seco y liberación hasta que el punto de rocío del aire que sale del recipiente alcance los -40 °C (contenido de humedad inferior a 80 ppm de agua).

131. Todas las válvulas del recipiente deben desmontarse y revisarse en el momento de la inspección, conservándolas secas en sacos de plástico individuales hasta su reinstalación. El equipo auxiliar debe desmontarse y revisarse en cada inspección; las cápsulas de seguridad deben cambiarse siempre.

**Pruebas.** (Véase la nota de orientación de la HSE GS 4 *Safety in pressure testing.)*

132. Al terminarse de reensamblar el equipo y de secarse hasta el nivel requerido, se utiliza el procedimiento siguiente:

*a)* pruebas de la presión con aire comprimido seco o nitrógeno en torno a las 120 psig;

*b)* introducción de una pequeña cantidad de cloro en el recipiente de almacenamiento y presurización con aire comprimido o nitrógeno en torno a las 120 psig;

*c)* verificación de que no se producen escapes por ninguna juntura, utilizando una botella de amoníaco.

Si no hay índice alguno de escape, el tanque se deja sometido a presión durante unas 12 horas y la verificación se repite.

133. Todas las tuberías conexas, que deben haber sido secadas, se someten a continuación a pruebas de gas antes de introducir el cloro líquido en la instalación.

## Descarga del cloro líquido de las cisternas a los recipientes de almacenamiento

### Consideraciones generales

134. El transvase de cloro líquido de las cisternas a los recipientes de almacenamiento puede efectuarse utilizando aire comprimido seco o nitrógeno seco o presión del gas de cloro. Los métodos que emplean aire comprimido seco o nitrógeno son más sencillos y por lo general sólo se recurre a la presión del gas de cloro en circunstancias especiales.

### Descarga mediante uso de aire comprimido seco o nitrógeno seco

135. El sistema recomendado para transvasar cloro líquido de las cisternas a los recipientes de almacenamiento, llenando el tanque de aire seco o de nitrógeno seco, se presenta en la figura 3. A continuación se examinan los requisitos detallados, que complementan la información dada en las secciones anteriores. Sin embargo, en cada instalación el sistema utilizado debe reducir a un mínimo el peligro de presión excesiva y ha de ser convenido entre el abastecedor y el cliente.

136. Para la carga de cloro se debe utilizar un sistema separado e independiente de aire comprimido seco o de nitrógeno, con el fin de minimizar la posibilidad de retrodifusión del cloro, que podría crear condiciones peligrosas en otros aparatos de aire comprimido, particularmente en los instrumentos.

137. Conviene que el gas vaya a parar a un sistema de absorción (véanse los párrafos 198 a 211) desde una cisterna «rellenada» una vez terminada la operación de transvase, para restablecer la presión en la cisterna a la presión de vapor de cloro aproximadamente a la temperatura del contenido de la cisterna. Si no se hace así, la cisterna podrá estar excesivamente presurizada al calentarse y poner en funcionamiento el sistema de desahogo.

### Nitrógeno a presión

138. El nitrógeno a presión se puede producir en una instalación de evaporación de nitrógeno líquido.

### Aire comprimido

139. El aire comprimido que se ha de utilizar debe estar libre de lubricantes y tener un punto de rocío inferior a -40 °C. Normalmente, el aire se debe comprimir en torno a las 150 psig utilizando un auténtico compresor sin lubricante (capacidad de 50 pies cúbicos/min de aire libre); si se utiliza un compresor lubricado con aceite, se lo debe dotar de un filtro de aceite que ha de mantenerse con regularidad.

140. El aire comprimido se enfría para suprimir parte del contenido de humedad y por último se seca, utilizando un sistema de secado de tipo regenerador, a un punto de rocío inferior a -40 °C. Es preferible que el punto de rocío se vigile de modo constante utilizando un indicador dotado de una alarma que avisa si el punto de rocío excede de la cifra preestablecida. Es importante recargar o regenerar los desecantes siguiendo los consejos de los abastecedores del equipo y del cloro.

141. Como salvaguardia complementaria, detrás del sistema regenerador se puede instalar una torre de seguridad llena de cloro cálcico anhidro. Para instalaciones pequeñas sólo puede resultar adecuado un secador que utilize cloro cálcico anhidro. Es esencial efectuar verificaciones adecuadas del estado del desecante.

### Suministro al sistema

142. El aire seco comprimido o el nitrógeno seco se deben almacenar en un receptor de presión dotado de una válvula de seguridad que funcionará a la presión de trabajo admisible de la planta de almacenamiento de cloro o a 150 psig, si esta cifra es menor. Desde el depósito, el gas debe pasar a través de la válvula de retención o de una válvula de cierre que actúa a presión, colocada delante de una válvula reductora para abastecer la presión requerida a fin de descargar las cisternas. Este suministro será también adecuado para otros fines en la planta del cloro como el secado o la limpieza de las tuberías y los recipientes, con la condición de que se tomen precauciones para impedir el reflujo del cloro hacia el circuito del aire. Se deben instalar manómetros antes y después de la válvula de reducción de la presión, de modo que se puedan efectuar verificaciones de que la presión del gas de relleno es mayor que la presión del cloro. Es importante establecer salvaguardias y alarmas

para garantizar que las presiones excesivas de gas no pueden aplicarse al circuito del cloro. Esto puede ser particularmente importante si el gas de relleno se suministra a partir de bombonas de alta presión.

143. La tubería de descarga del cloro líquido en la cisterna de cloro debe estar conectada con la tubería permanente en el punto de descarga (véanse los párrafos 30 a 41).

144. Se debe instalar un manómetro, una tubería de ventilación conectada a la torre de absorción y una conexión para el gas comprimido seco cerca del extremo de la tubería permanente en el punto de descarga, con las necesarias válvulas de aislamiento, como se detalla en la figura 3.

145. La tubería del cloro líquido desde el punto de descarga hasta los recipientes de almacenamiento del cloro líquido debe ser razonablemente corta. Si es preciso utilizar una tubería larga, habrá que examinar la necesidad de protegerla contra la presión excesiva (véanse los párrafos 47 a 53).

**Descarga mediante uso de presión de gas de cloro**

146. El cloro líquido se puede transvasar de las cisternas hasta los recipientes de almacenamiento mediante el relleno con gas de cloro seco. Normalmente, el gas se saca de uno de los depósitos de almacenamiento, pero de preferencia no debe ser el depósito en el que está descargando la cisterna. El suministro de gas de cloro líquido a la presión requerida puede obtenerse recomprimiendo el vapor de cloro en un tanque de almacenamiento o mediante la evaporación del cloro líquido.

147. Sigue siendo necesaria una fuente de aire comprimido seco exento de grasa, para el secado y la limpieza del circuito (véase *supra*).

**Uso de vapor de cloro recomprimido**

148. La elección del compresor adecuado para la recompresión del vapor de cloro requiere un meticuloso examen con el fin de garantizar que el equipo puede funcionar de manera satisfactoria con carácter intermitente. Los compresores de diafragma o los compresores de pistón con anillo de carbono seco son adecuados para esta función, con la condición de que se sometan a un mantenimiento regular.

149. En los compresores de *diafragma* para este fin se utilizan diafragmas dobles de acero inoxidable con un fluido inerte entre ellos.

150. Los compresores de *anillo de carbono seco* deben limpiarse de preferencia con aire seco después de ser utilizados para evitar que los residuos de cloro que queden en el compresor provoquen problemas al producirse escapes de los prensaestopas del eje. Durante el funcionamiento del compresor, los prensaestopas del eje deben estar presurizados con gas inerte comprimido seco.

151. Si hace falta enfriar el cilindro del compresor, esto se debe realizar de preferencia mediante refrigeración del aire. Si es preciso recurrir al enfriamiento por camisa exterior, esta operación se debe llevar a cabo por medio de la circulación a través de un termopermutador externo, adoptando disposiciones para detectar escapes de cloro hacia el fluido del intercambio térmico. Se debe evitar el enfriamiento directo con agua.

152. El compresor debe estar dotado de un conducto de derivación con el fin de que el cloro se pueda reciclar hasta que su temperatura se haya elevado lo suficiente para prevenir la licuefacción en las tuberías de salida. Se debe vigilar la temperatura del cloro utilizando un indicador dotado de una alarma sonora que se dispare si pasa de 90 °C.

153. Se debe también disponer un circuito de desahogo de la presión en la tubería de salida del compresor para impedir que la presión de salida exceda de la cifra prefijada.

**Uso de cloro vaporizado**

154. La alternativa al empleo de un compresor, como se ha indicado más arriba, consiste en producir vapor de cloro presurizado a partir de un vaporizador.

155. El cloro líquido se transvasa de las cisternas de almacenamiento del cloro a un depósito de bombeo del cloro. El depósito de bombeo sólo necesita tener una capacidad relativamente pequeña y debe tener un tapón de purga en el fondo que esté conectado al aspirador de la bomba del cloro (véase el párrafo 164). El cloro líquido se bombea a continuación para transvasarlo a un vaporizador que funciona a la presión requerida y desde el cual se puede pasar el cloro líquido a los depósitos de almacenamiento por medio de la presurización de los camiones cisterna cargados de cloro.

156. Si se produjera una emergencia como resultado de un fallo de juntura del fondo del tanque de bombeo, será preciso reducir al mínimo la descarga de cloro al medio ambiente. Esto se puede lograr instalando una válvula

interior del tanque o, como alternativa, bombeando el contenido a un depósito vacío.

## Paso del cloro a las instalaciones de consumo

### Transvase de cloro líquido

157. El transvase de cloro líquido desde los depósitos de almacenamiento hasta las instalaciones de consumo se puede efectuar:

*a)* utilizando la presión del vapor de cloro líquido solamente;

*b)* llenando el depósito de almacenamiento del cloro de gas comprimido seco;

*c)* pasando el cloro líquido a un depósito separado desde el cual se bombea utilizando una bomba especialmente concebida para ser utilizada para el cloro líquido;

*d)* por medio de una bomba sumergida instalada dentro del depósito de cloro líquido.

Los métodos *a)* y *b)* suelen ser los más satisfactorios para las instalaciones de los clientes.

158. En circunstancias especiales y de acuerdo con los abastecedores de cloro, el cloro líquido se puede transvasar de las cisternas directamente a las instalaciones de transformación o a un vaporizador de cloro; este es un sistema especial y poco habitual.

### Transferencia de cloro gaseoso

159. Aparte de la ventilación, las consideraciones de seguridad no permiten descargar cloro gaseoso de las cisternas directamente a las instalaciones de tratamiento en los locales del cliente. Ese procedimiento podría causar peligros potenciales debido a la concentración de pequeñas trazas de tricloruro de nitrógeno explosivo presente en el cloro; además podría existir el peligro de una retrosucción de la humedad o de otros materiales en la cisterna en circunstancias anormales, fuera del control de los abastecedores de cloro.

### Precauciones

160. Se deben adoptar disposiciones para que el flujo de cloro líquido desde el recipiente de almacenamiento pueda detenerse rápidamente en caso de producirse una deficiencia en la planta de consumo del cloro (véase el párrafo 89). Las tuberías largas destinadas a descargar el cloro líquido en las instalaciones de consumo pueden necesitar protección contra la presión excesiva (véanse los párrafos 47 a 53).

161. La posibilidad de retrosucción de las soluciones acuosas desde un circuito de absorción, o de los líquidos utilizados en el proceso, ha de reducirse estrictamente a un mínimo. Para ello hace falta proceder a un detallado estudio en la etapa de diseño.

### Transvase de cloro líquido mediante uso de vapor a presión

162. Para muchas aplicaciones el vapor a presión del cloro líquido en el depósito de almacenamiento es suficiente para transvasarlo a la instalación de consumo, aun cuando pueden surgir problemas con las instalaciones exteriores si el clima es frío. Cuando el líquido se ha extraído del depósito, puede ser aceptable que parte del gas restante se utilice en el proceso de transformación. Sin embargo, se debe mantener siempre una presión positiva mínima en los recipientes de almacenamiento; esta presión debe determinarse para cada circuito.

### Transvase de cloro líquido mediante relleno con gas comprimido seco

163. El transvase mediante el relleno de los tanques de almacenamiento con gas comprimido seco es sencillo; las medidas y las precauciones que se requieren son análogas a las detalladas en los párrafos 135 a 142.

### Transvase de cloro líquido mediante tanque de bombeo separado

164. Se han creado bombas totalmente cerradas para el transvase de cloro líquido, que se utilizan cuando el cloro tiene que estar a una presión elevada (digamos superior a 100 psig) o cuando no es aceptable el empleo de gas comprimido inerte seco. El cloro líquido se transvasa primero del depósito de almacenamiento a un tanque de bombeo separado que suele estar constituido por una bombona con una conexión en el fondo. El cloro líquido se retira del fondo del tanque de bombeo para pasarlo al aspirador de la bomba. Es preferible instalar una válvula teleaccionada en el interior del tanque o entre el tanque de bombeo y la bomba para proceder al aislamiento en caso de emergencia. En el diseño de este circuito, se debe poner cuidado en velar por que la carga de aspiración neta positiva sea adecuada para satisfacer las necesidades mínimas para utilizar la bomba.

**Transvase de cloro líquido mediante bomba anegada**

165. Para el transvase de cloro líquido del recipiente de almacenamiento hasta las instalaciones de consumo se utilizan también bombas anegadas. Si se adopta este procedimiento, es preciso proceder a un examen detallado con el abastecedor del cloro y con el abastecedor del equipo para asegurarse de que el sistema es satisfactorio.

## Vaporizadores del cloro

166. Los vaporizadores (también conocidos como evaporadores) se utilizan para convertir el cloro líquido en gas.

167. Una planta con una cadencia reducida de uso de cloro puede extraer el gas directamente de las bombonas o los tambores con que se suministra el gas, pero en cantidades mayores hace falta un vaporizador. Los vaporizadores siempre se necesitan cuando el almacenamiento es un tanque a granel fijo o desmontable, para obtener un paso regular y constante del gas a las instalaciones de procesamiento. El otro procedimiento que consiste en extraer el gas del vapor ambiente de un tanque a granel no es satisfactorio. Existe el peligro de que los líquidos utilizados en el proceso regresen al tanque, de la irregularidad del suministro y de la posible acumulación de impurezas peligrosas menos volátiles como el tricloruro de nitrógeno en el tanque.

168. Una de las aplicaciones importantes de los vaporizadores de cloro es el tratamiento del agua, para luchar contra las malas hierbas y las algas en el agua de refrigeración y para la esterilización del agua potable. Estas instalaciones frecuentemente se suministran como parte de un conjunto con el equipo de dosificación o analítico. En el Reino Unido existen cuatro abastecedores de instalaciones modelo para el tratamiento del agua, aunque otros contratistas de productos químicos pueden suministrar equipos completos. En las plantas de tratamiento del agua, el vaporizador común es del tipo autorregulado, con un baño de maría calentado eléctricamente. La mayor flexibilidad del calentamiento por vapor es útil en plantas que utilizan gas de cloro en cantidades grandes o muy variables.

**Métodos de calentamiento**

169. Los métodos de calentamiento del vaporizador deben reducir al mínimo el riesgo de corrosión y los problemas que podrían surgir si el vaporizador fallara. Entre los sistemas actualmente utilizados cabe mencionar los siguientes: calentamiento con agua caliente; calentamiento con vapor; y utilización de un calentamiento de circuito cerrado con fluidos de termo-transferencia distintos del agua. No se debe recurrir al calentamiento eléctrico directo, debido al peligro de recalentamiento local.

*Calentamiento con agua caliente*

Es el método más frecuentemente utilizado; la temperatura de trabajo normal (60 a 70 °C) es bastante inferior a la temperatura a la que se podría producir una reacción importante del acero al carbono con el cloro seco.

*Calentamiento con vapor*

El vapor debe estar saturado y su presión debe limitarse para evitar el recalentamiento, en particular si el vaporizador es de acero bajo en carbono. Cualquier pequeño escape de cloro hacia la superficie interior del circuito de agua en los sistemas de agua caliente o de vapor produce una rápida corrosión del acero por el cloro húmedo.

*Fluidos (distintos del agua) termotransmisores*

Se puede aplicar el calor eléctrico o de vapor a los fluidos termotransmisores que son relativamente poco reactivos al cloro. Los fluidos de que se dispone (por ejemplo, el hexaclorobutadieno) son en sí peligrosos, de modo que los peligros de utilizar agua como medio termotransmisor se aceptan en la práctica, con salvaguardias adecuadas.

**Tipos**

170. Existen cuatro tipos principales de vaporizador (en el apéndice 5 figuran otras descripciones).

*Haz de tubos verticales*

Se parecen a los termoconmutadores ordinarios, y suelen contener cloro en los tubos. Entre los demás modelos, cabe mencionar el vaporizador común para el tratamiento del agua (un cilindro con un orificio de entrada de cloro líquido de sifón invertido, sumergido en la cubeta de calentamiento) o un termopermutador de tubos y envuelta con el cloro del lado de la envuelta.

*Serpentín*

El cloro se evapora en un serpentín de tubos de acero colocado dentro de un baño de vapor húmedo o de un baño de maría calentado por vapor o eléctricamente.

*Tubo concéntrico*

La superficie del termopermutador es un tubo, por lo general de cuatro pulgadas de diámetro, rodeado por una envuelta exterior calefactora.

*Caldera*

Contiene un sistema calefactor (vapor o fluido calentado) que pasa a través de una marmita que contiene cloro líquido.

**Regulación del volumen o cantidad global**

*Vaporizadores autorreguladores*

171. En los vaporizadores de cierto tipo, el cloro líquido entra por el fondo y el gas se retira a través de una válvula de control situada en la parte superior. Cuando la cantidad absorbida es elevada, el nivel de cloro líquido aumenta en el contenedor y el líquido presenta una mayor superficie de termoconmutación. Cuando la cantidad requerida es pequeña, el aumento de la presión del vapor a la temperatura del medio de calentamiento expulsa al cloro líquido del vaporizador de nuevo hacia el recipiente de almacenamiento y el índice de evaporación disminuye. Este sistema se suele aplicar a los vaporizadores con una capacidad de cloro relativamente pequeña, como los haces de tubos verticales, los serpentines y los tubos concéntricos.

*Vaporizadores de nivel constante*

172. Otros tipos de vaporizadores por lo general sólo se encuentran en plantas de gran capacidad y sacrifican algunas ventajas de los tipos autorreguladores más arriba señaladas con el fin de conseguir índices de vaporización mucho mayores. Estos tipos exigen unos instrumentos separados y un dispositivo de control para garantizar un nivel constante de cloro líquido en la caldera o envuelta con sistemas de alarma de alto y bajo nivel. En esos tipos (en que puede haber partes del depósito de cloro líquido que no estén bien mezcladas), existe una mayor tendencia a concentrar las impurezas menos volátiles que en un vaporizador autorregulador, por lo que puede ser necesario un circuito separado de purga del vaporizador para eliminar periódicamente los residuos. El diseño y el funcionamiento de esos vaporizadores de mayor capacidad tienen un carácter especializado y requieren la celebración de consultas entre el usuario, el proyectista y el abastecedor del cloro.

**Instalación general**

173. El vaporizador debe instalarse en la zona de almacenamiento o en un espacio adyacente lo más cerca posible de los tanques de almacenamiento del cloro para que las tuberías que transportan el cloro líquido sean cortas. El cambio del suministro del cloro líquido de un tanque de almacenamiento a otro puede influir en las condiciones de funcionamiento del circuito del vaporizador y cualquier dificultad de ese tipo se reducirá si el espaciamiento no es demasiado grande, es decir, inferior a cinco metros. No obstante, el espacio entre el vaporizador y el circuito de almacenamiento debe permitir un acceso adecuado para una acción de emergencia en caso de producirse un incidente en el vaporizador.

**Seguridad**

174. La cantidad de cloro en un circuito de vaporizador de cloro es relativamente pequeña en comparación con la que suelen contener los tanques principales de almacenamiento de cloro. Sin embargo, el diseño debe permitir que se pueda detectar la deficiencia del equipo y rectificarla con rapidez, y que cualquier escape consiguiente de cloro al medio ambiente se reduzca al mínimo.

**Riesgos de accidentes**

175. Los peligros potenciales que presentan los vaporizadores de cloro guardan relación con la función del dispositivo, es decir, suministrar calor a un gas licuado corrosivo y tóxico bajo presión. Entre esos peligros cabe mencionar los siguientes:

*a)* el riesgo de *escapes por aberturas muy pequeñas,* que provoca una rápida corrosión y aumenta las pérdidas de cloro;

*b)* una *corrosión* rápida, si se deja que entre *humedad* en el circuito del cloro;

*c)* concentración de *impurezas* en el cloro, como el tricloruro de nitrógeno explosivo, al evaporarse el cloro;

*d)* *corriente invertida* de los fluidos de reacción, causada por una caída de la presión en el vaporizador o por un exceso de presión en la instalación o por una solución de gas de cloro en el fluido. La presencia del fluido (agua, disolvente o reactivo) en el vaporizador puede ocasionar la corrosión o una reacción violenta local;

e) *paso* del cloro líquido como fluido a granel o gotitas a la tubería del gas o a la propia instalación de pro-

cesamiento. Esto puede causar daños o riesgos (según los materiales de construcción y el procedimiento utilizados);

*f)* recalentamiento del vaporizador, que puede aplicar una *presión excesiva de gas* al circuito, puesto que la presión del vapor de cloro aumenta muy fuertemente con la temperatura;

*g)* la expansión de cloro líquido que, cuando está calentado, aplica grandes *fuerzas hidráulicas*, si el circuito está cerrado y lleno de líquido.

176. Estos riesgos básicos se examinan con mayor detalle más adelante, pero agrupados según la medida correctiva prevista.

*Anegación y arrastre de líquido*

177. La anegación (llenado) del vaporizador de cloro con cloro líquido puede derivarse del funcionamiento del equipo por encima de su capacidad, de un calentamiento insuficiente o de la incrustación de las superficies del termotransmisor. Un indicador del flujo de gas hacia las instalaciones de procesamiento puede ser útil para el operador con fines de rutina y señalará también los índices excesivos de retirada.

178. Si la temperatura del medio calorífico desciende de modo excesivo en un evaporador autorregulador, es posible que el gas de salida esté insuficientemente recalentado, o incluso que el cloro líquido pase a través del vaporizador. Lo mismo puede suceder si el nivel del agua en un baño de agua se reduce. En último extremo, si el cloro se extrae, pero no se suministra calor al vaporizador, es posible que se forme hielo en las superficies del termoconmutador y que les cause graves daños.

179. La temperatura del medio calentador se suele controlar termostáticamente. Si se produce anegación, puede originar riesgos potenciales (según el procedimiento y los materiales de la planta utilizados) debido al arrastre de cloro líquido a las tuberías de vapor. Se debe siempre contar con instrumentos y alarmas adecuados para dar un aviso inmediato de esta situación, a menos que una evaluación cabal de la planta y de los procedimientos haya mostrado que no son necesarios. Cabe prever alarmas de baja temperatura para cortar el suministro del cloro líquido al vaporizador o (en los tipos autorreguladores únicamente) poder cerrar la salida del cloro gaseoso impulsando al cloro líquido a que vuelva al almacenamiento a granel.

180. Cabe incorporar una marmita extractora (o un colector de líquido pulverizado) para impedir que gotitas o agua pulverizada pasen a las tuberías del gas en las que podrían dañar su material. Con una marmita extractora se puede obtener mayor seguridad, cuando el proceso pueda resultar inestable, si se suministra algo de cloro líquido. En todos los casos en que es inaceptable la posibilidad de que el líquido pase a las instalaciones de procesamiento, se recomienda vivamente que, por razones de seguridad, se ajuste un detector de baja temperatura cerca de la marmita extractora.

*Corrosión y reacción aceleradas (alta temperatura)*

181. Si la temperatura de los tubos de acero que contienen cloro es demasiado elevada, existe el peligro de que se produzca una rápida reacción química entre el cloro y el acero. La temperatura debe limitarse normalmente a un máximo de 120 °C. Un límite de unos 70 °C es aplicable si el vaporizador está constituido por acero galvanizado en un baño de agua, a fin de evitar la rápida corrosión del lado de la superficie del termoconmutador que da al agua. Si es necesario efectuar la operación a temperaturas más elevadas, podrán requerirse vaporizadores de níquel o de las aleaciones de níquel disponibles (como el Monel 400 o el Inconel). En esos casos, las tuberías de cloro (gas) posteriores pueden también tener que ser resistentes a temperaturas más elevadas que las habituales.

182. El control de la temperatura se suele efectuar por termostatos. Si el medio calorífico es el vapor, la temperatura se puede vigilar por medio de alarmas de alta y baja presión en la entrada del vapor. La présion del vapor debe limitarse normalmente a 15 psig (equivalente a 120 °C) y el vapor tiene que estar saturado, no recalentado.

*Alta presión*

183. La alta presión suele ser una consideración de seguridad importante. Se debe ajustar una alarma de alta presión accionada desde el manómetro o por medio de un disyuntor neumático individual. La alarma de alta presión tiene que mantenerse con particular meticulosidad y ponerse a prueba con regularidad. Una temperatura de trabajo común para los vaporizadores es 70 °C. La presión del vapor de cloro a 70 °C supera los 300 psig. De ello se deduce que:

*a)* se debe hacer todo lo posible por que el vaporizador no esté totalmente aislado del cloro líquido. La estricta observancia de los procedimientos establecidos por escrito con respecto a la parada es vital;

*b)* se debe poner el máximo empeño en evitar el aislamiento accidental del vaporizador por ambos lados.

Se debe velar por que en los dispositivos de cierre de las válvulas de emergencia se tenga esto en cuenta;

*c)* la envuelta y los tubos del vaporizador deben estar diseñados para soportar una presión de trabajo admisible que por medio de controles del funcionamiento se garantice no pueda excederse.

En el Reino Unido los vaporizadores de cloro no suelen estar dotados de su propio sistema de desahogo de la presión, de modo que son esenciales los procedimientos para velar por que se cumplan las condiciones establecidas en los apartados *a)* y *b)*.

*Flujo inverso*

184. Se puede ajustar una alarma de baja presión a la salida de la tubería del gas. Esa alarma avisa de la pérdida de entrada a las instalaciones de procesamiento, pero la importancia con respecto a la seguridad de la baja presión es reducida, a menos que exista un peligro de que el fluido del proceso (es decir, el agua de un clorizador) vuelva a ser aspirado por las válvulas, el evaporador o el recipiente de almacenamiento con las posibles consecuencias de una reacción local. La posibilidad de una aspiración invertida a los vaporizadores debe eliminarse en la medida de lo posible. A este requisito se le debe prestar suma atención en la etapa del diseño. En los sistemas globales de clorización del agua se suele incorporar un conjunto de válvulas al sistema de control para impedir la aspiración invertida o la eliminación. Los dispositivos varían y es preciso velar cuidadosamente por que el sistema previsto ofrezca protección en caso, por ejemplo, de producirse una infiltración hacia atrás a la válvula de retención del expulsor. Es preciso verificar el circuito y proceder a su mantenimiento con frecuencia.

185. En las plantas de productos químicos se requieren precauciones análogas contra la succión invertida y la eliminación de los licores.

186. Se deben adoptar disposiciones para que funcione una alarma si la presión del gas desciende por debajo del nivel de seguridad; de ser necesario, esto se podría utilizar para iniciar la purga del circuito, mediante aire seco u otro gas adecuado.

**Aislamiento programado y de emergencia**

187. Es necesario que el vaporizador se pueda aislar para el mantenimiento, etc.; y también en casos de emergencia como el mal funcionamiento del propio vaporizador debido a escapes o a un fallo de la tubería de gas posterior. Además de una válvula manual colocada en la entrada del líquido y en la salida del gas, se recomienda colocar válvulas accionadas a distancia tanto en la entrada como en la salida. Habitualmente se instalará una válvula de reducción de la presión o de control del flujo en la salida (véase el párrafo 191) y a veces es posible que dicha válvula sea asimismo la válvula de cierre accionada a distancia.

188. Como un dispositivo de seguridad de reserva por si las válvulas automáticas dejan de funcionar (o no están activadas) en una situación de emergencia, existe cierta ventaja en dotar de una válvula de freno del flujo o del flujo excesivo en la entrada del líquido (normalmente en la salida desde el recipiente de almacenamiento) con el fin de reducir al mínimo el escape que podría producirse si hubiera una deficiencia grave de la planta. La viabilidad de estos dispositivos adicionales dependerá del diseño detallado del circuito.

189. Los riesgos de aislamiento total del vaporizador son considerables (véase *supra*, párrafo 183). En caso de que quede encerrado cloro líquido, las consecuencias serán sumamente graves si se llena el evaporador (por ejemplo, si las válvulas se cierran al mismo tiempo en una situación de escape importante de la tubería del gas). Si existe un gas ambiente encima del cloro cuando el vaporizador está aislado y calentado, la presión interna alcanzará la del cloro a la temperatura del medio calorífico. Se debe examinar la posibilidad de que el vaporizador, las tuberías y las válvulas estén diseñadas de manera que soporten esa presión o de manera que se incorporen dispositivos para darle salida a un lugar seguro. (La mitigación de la presión del vaporizador no está prevista en las instalaciones de los consumidores de productos no químicos del Reino Unido, pero existe en ciertas plantas de productos químicos de gran capacidad de producción.) No debe disponerse que las válvulas automáticas se cierren juntas cuando se dé la alarma. Un método consiste en disponer que la válvula de control del gas se cierre cuando se dé una alarma con respecto a un funcionamiento inapropiado del sistema (por ejemplo, una baja presión del gas, alarmas de las fases posteriores del proceso, baja temperatura) y en que la válvula de control del líquido en el recipiente de almacenamiento a granel se cierre cuando la alarma se deba a un escape de cloro (por ejemplo, los detectores locales emplazados en el vaporizador y en el recipiente de almacenamiento, alar-

mas manuales). Si la planta está continuamente atendida por personal, prever la intervención manual en el circuito más que el funcionamiento totalmente automático del dispositivo de parada da cierta seguridad adicional, pero se debe poner cuidado en que esto no produzca demoras considerables en la reacción a la alarma.

190. El aislamiento del vaporizador sigue siendo concebible, pero por lo común no se ajustan dispositivos de interbloqueo entre las válvulas de entrada y salida para prevenir el aislamiento debido a que en ocasiones es necesario cerrar ambas válvulas durante las operaciones de limpieza y revisión. Un sistema seguro de trabajo con respecto al mantenimiento y al funcionamiento es, por tanto, parte esencial de las disposiciones de seguridad.

**Válvula de control de la presión**

191. En todos los diseños de vaporizadores se incorpora un elemento de supercalentamiento del vapor, ya sea en el propio vaporizador o como un elemento separado, con miras a que el gas del cloro que surja no pueda licuar de nuevo en las válvulas de control, donde podría ocasionar problemas de presión irregular en el funcionamiento y erosiones locales. Estos problemas se evitan en el tramo restante del circuito del gas de cloro reduciendo la presión del gas. Se debería prever un sistema adecuado de control automático para lograrlo, es decir, un sistema de control de la presión.

**Corrosión**

192. Se ha de efectuar una inspección regular de acuerdo con los requisitos del plan establecido por el cuerpo de inspección técnica. El equipo debe secarse completamente antes de volver a ponerlo en servicio. La humedad que queda en el circuito puede provocar una corrosión muy rápida. La manera de actuar debe estar explicada por escrito en el manual de explotación.

193. La frecuencia de las inspecciones y del mantenimiento de los vaporizadores tendrá que ser mayor que la de los tanques de almacenamiento fijos debido a la mayor temperatura funcional, las condiciones que favorecen la corrosión y la posible sedimentación de sólidos. Las consecuencias de un mínimo escape de cloro del lado del baño de calentamiento de un vaporizador podrían ser muy graves, dado que la mezcla de cloro y humedad es extremamente corrosiva. La presión del vapor o del baño de agua caliente en comparación con el aprovisionamiento de cloro debe establecerse de manera que sea poco probable que el agua penetre realmente en la tubería del cloro líquido que conduce al vaporizador, aunque podría producirse una rápida corrosión de las superficies del evaporador, con un escape sustancial de cloro. La corrosión de las superficies del termopermutador no se vigila de forma directa.

194. La autoridad de inspección especificará las frecuencias de las inspecciones de cada instalación. Un fabricante de una planta de cloro para el servicio de agua recomienda que el propio recipiente del evaporador sea examinado visualmente por dentro y por fuera una vez al año o después de haber pasado por él 250 toneladas de cloro, de haber ocurrido esto en un período más corto. Esta recomendación es una pauta razonable para evaporadores pequeños, con la condición de que se usen razonablemente poco. Los evaporadores de tipo baño con serpentín interior se inspeccionan por lo común de modo riguroso cada dos años y los serpentines se eliminan si están muy picados.

195. El recipiente y los tubos del evaporador se suelen proteger contra la corrosión del agua por medio de una protección catódica. En general, los ánodos deben inspeccionarse visualmente cada 3 a 6 meses. Esa frecuencia se debe establecer basándose en la experiencia del ritmo a que se consumen los ánodos y requieren ser sustituidos. Si en el momento de la inspección los ánodos están totalmente consumidos, se debe efectuar un examen a fondo del vaporizador.

196. La acumulación de depósitos sólidos reduce la eficacia de un vaporizador y puede asimismo favorecer la corrosión. Es preciso limpiar y secar de nuevo el vaporizador con regularidad. Un meticuloso cuidado en el procedimiento de limpieza reducirá al mínimo la corrosión, pero por lo común el cilindro del evaporador de cloro del circuito de tipo 1c (véanse las ilustraciones) debe renovarse cada cinco años. La pieza utilizada puede someterse a un cuerpo de inspección competente a fin de que éste certifique su idoneidad para continuar en uso, de ser necesario.

197. Se debe comprobar que la salida del baño de agua o del refrigerante no tenga escapes de cloro por medio de mediciones de la reducción-oxidación o de la conductividad. Una pronta detección de escapes menores es útil en todos los casos y es sumamente recomendada, si no se proporciona y mantiene una protección catódica.

## Sistema de absorción del cloro

198. Se debe poner el máximo cuidado para que en todas las operaciones en que se utiliza cloro, éste pueda, en caso de emergencia, ser absorbido por un eliminador sin que se produzcan emisiones al medio ambiente.

199. El control de las emisiones de cloro de las actividades programadas debe ser objeto de consultas con la Inspección de la Contaminación del Aire Industrial del Ministerio de Salud (o con la Inspección de la Contaminación Industrial para Escocia del Ministerio de Salud).

200. En algunas instalaciones la índole del proceso de consumo es tal que la absorción de cloro es posible sin una instalación de absorción especial. Sin embargo, en esas circunstancias es preciso garantizar a los obreros que durante los períodos de mantenimiento se dispondrá siempre de una capacidad de absorción suficiente para captar cualquier emisión de cloro. Entre las instalaciones en que puede no ser esencial una planta de absorción separada cabe mencionar las plantas de tratamiento de agua de refrigeración y las plantas de producción de solución de cloruro cálcico.

201. En la mayor parte de las instalaciones de almacenamiento a granel, sin embargo, se requiere una planta de absorción del cloro separada que debe mantenerse siempre en un estado de disponibilidad. La cantidad de reactivos existentes en el circuito de absorción tiene que ser suficiente para hacer frente a cualquier emergencia imprevisible.

202. La responsabilidad de la instalación de un sistema de absorción del cloro adecuado incumbe al consumidor, pero se debe recabar el asesoramiento del abastecedor de cloro de la instalación propuesta.

203. Se debe estudiar también meticulosamente la conveniencia de disponer de unos instrumentos adecuados con alarmas y de eliminar el efluente de la planta de absorción del cloro.

204. Se debe proporcionar un equipo auxiliar adecuado para cubrir cualquier interrupción del servicio o revisión y desmontaje de rutina. Las bombas de circulación, los aventadores y los instrumentos esenciales deben figurar entre los materiales que están conectados a la red de distribución y al suministro de energía de emergencia de la fábrica, si se dispone de este último. Cuando hace falta que la instalación de absorción esté constantemente a disposición (por ejemplo, los respiraderos de los reactores), es esencial proporcionar un grupo electrógeno de socorro y bombas de circulación auxiliares o un suministro de socorro de solución de absorción alimentado por gravedad.

### Sistema de recogida de las emisiones

205. Las tuberías para recoger los gases de salida que contienen cloro seco pueden fabricarse de acero bajo en carbono, pero se ha de prevenir la retrodifusión de la humedad desde el circuito de absorción, que puede producirse si la ventilación es intermitente.

206. Los sistemas de ventilación de los circuitos de desahogo, que es probable funcionen sólo raras veces, pueden protegerse de la retrodifusión de la humedad mediante el uso de membranas protectoras. En algunos casos puede ser útil prever una purga de gas seco controlada a través de las tuberías de ventilación.

207. Si existe algún peligro de contaminación de la humedad, la tubería tiene que ser de acero al carbono revestido de caucho o revestido de plástico, o de plástico resistente al cloro húmedo (por ejemplo, cloruro de polivinilo, *Hetron* o *Atlac 382*), o vidrio.

208. Si existe alguna posibilidad de que se produzca un arrastre de cloro líquido, se deben instalar separadores de líquido y gas en las tuberías para evitar una presión excesiva o una carga excesiva del circuito de absorción; estos separadores están dotados de una alarma de temperatura para indicar la presencia de cloro líquido. Además, si es posible que se produzca un arrastre de cloro líquido, no se deben utilizar tuberías de plástico. Al decidir el tamaño de las tuberías, se debe tener en cuenta el flujo máximo posible en las condiciones más desfavorables.

### Equipo de absorción

209. Se utilizan diversos tipos de aspiradores para el tratamiento de los gases de ventilación; un aspirador adecuado puede basarse en el empleo de torres rellenas, red de ventilación o aspiradores rociadores. Puede ser ventajoso que el sistema elegido efectúe la aspiración en la planta.

210. El licor de sosa cáustica es el reactivo más conveniente para la absorción de cloro en los gases de escape. La concentración de sosa cáustica no debe exceder del 21 por ciento de NaOH, debido al peligro de que el depósito de sal ocasione bloqueos en la planta de absorción.

211. Como alternativa, en instalaciones donde no existe un recipiente de almacenamiento a granel de solución de sosa cáustica y donde se dispone *in situ* de cal viva o carbonato sódico se puede utilizar una solución de lechada de cal viva o de carbonato sódico.

**Instrumentos**

212. Es esencial detectar las deficiencias rápidamente, y se deben instalar para ello instrumentos adecuados con alarmas en la planta de absorción de ventilación para garantizar que se dé el aviso si falla el equipo. Las fallas de particular importancia son las siguientes:

*a)* pérdida de circulación;

*b)* agotamiento químico de la solución de absorción.

213. Se debe considerar la conveniencia de instalar un indicador de presión ajustado con una alarma para poner de manifiesto si hay una ventilación excesiva o si se ha producido un bloqueo en el circuito de absorción.

214. En la salida del aspirador se puede instalar un detector de cloro.

**Eliminación del efluente de la planta de absorción de cloro**

215. La eliminación del líquido de la planta de absorción de cloro exige un meticuloso estudio, ya que la presencia de hipoclorito puede crear problemas. Si los licores residuales se descargan sin tratamiento, se debe investigar la posibilidad de interacción con otros efluentes (por ejemplo, una mezcla con un efluente ácido puede provocar el desprendimiento de cloro en el medio principal de los efluentes y con un efluente amoniacal, la formación de tricloruro de nitrógeno).

216. En ciertas circunstancias, puede resultar necesario tratar el efluente para reducir el contenido de hipoclorruro a un nivel aceptable. Esto se puede conseguir mediante un tratamiento con sulfito sódico.

## Equipo de protección para situaciones de emergencia (véanse también los párrafos 247 a 263 con respecto a los procedimientos de emergencia)

**Equipo de protección respiratoria para uso normal**

217. Es una práctica frecuente que el personal de las instalaciones más importantes de cloro lleve máscaras de tubo que funcionan como máscaras antigases para protegerse contra las concentraciones nocivas de cloro en caso de producirse un escape accidental. Esas máscaras NO DEBEN utilizarse en el mantenimiento normal o en otras actividades en que existe la posibilidad potencial de un escape de gas de cloro.

218. Las mascarillas de respiración de tipo máscara antigás son adecuadas para ciertas actividades de rutina y deben llevarse puestas o mantenerse a disposición, cuando existe la posibilidad potencial de que se formen bajas concentraciones de gas de cloro. Esto puede suceder durante la conexión o desconexión de los contenedores de transporte o al interrumpirse los circuitos de cloro purgado anteriormente. No se deben utilizar si existe cualquier posibilidad potencial de que se produzca un escape de cloro líquido, en cuyo caso se deben emplear aparatos de respiración autónoma. Los aparatos de respiración autónoma (o el tubo de aire comprimido) ajustados a la norma BS 4667 deben utilizarse también siempre cuando existe una posibilidad de que se escape gas de cloro en un espacio limitado o cuando los medios de acceso o de retirada son físicamente reducidos.

219. Todas las personas que trabajan en las zonas o circunstancias mencionadas tienen que ser instruidas en el uso del equipo de protección respiratoria pertinente y conocer las restricciones relativas a su aplicación o empleo. Conviene también señalar que, en algunas situaciones reguladas por la ley de fábricas o el reglamento sobre fábricas de productos químicos, sólo se puede utilizar un equipo protector respiratorio que haya sido aprobado por la HSE. Se deben adoptar asimismo disposiciones adecuadas para el mantenimiento del equipo protector respiratorio proporcionado.

**Equipo de protección respiratoria para casos de emergencia**

220. Se necesita equipo de emergencia en todos los sectores de las plantas de cloro en que existe la posibilidad de que se produzcan escapes de gas. Se debe estudiar con sumo cuidado el número de piezas de equipo y su emplazamiento. El equipo de emergencia se debe inspeccionar y mantener con regularidad para que se conserve en un estado satisfactorio.

221. Si bien las mascarillas de tipo máscara antigás son adecuadas para las actividades normales como la descarga, y para utilizarse con bajas concentraciones de gas de cloro, no son apropiadas si se producen escapes importantes de cloro. Para hacer frente a incidentes de ese tipo se debe disponer de los siguientes aparatos de respiración:

a) aparato de respiración autónoma que aporte el suministro de aire requerido para 30–40 minutos, con el fin de que se puedan llevar a cabo las actividades de socorro o de emergencia destinadas a aislar el equipo con altas concentraciones de gas de cloro. Este equipo está dotado de una alarma sonora que se dispara cuando la presión en las bombonas de aire se reduce por debajo de una cifra estipulada, con el fin de que el que la lleva puesta conozca el tiempo de que dispone antes de verse obligado a abandonar la zona contaminada;

b) equipo de salvamento, que comprende un aparato de respiración autónoma que dura por lo menos 10 minutos, para ser utilizado únicamente si fuera necesario proceder a la evacuación de urgencia de la planta.

**Ropa protectora para casos de emergencia**

222. Se debe disponer de ropa protectora para las zonas en que es posible que se produzcan escapes de gas de cloro. Conviene contar por lo menos con dos aparatos de respiración autónoma de 30 a 40 minutos y dos conjuntos completos de ropa protectora (traje, capucha, guantes y botas impermeables) que se guardarán en taquillas de armarios cerca de la instalación de almacenamiento y en un lugar accesible en caso de producirse un escape.

**Juegos de herramientas de emergencia**

223. Los juegos de herramientas de emergencia (con inclusión de las llaves de las válvulas de repuesto) deben estar a disposición en la zona de almacenamiento del cloro. El equipo suministrado debe inspeccionarse y mantenerse con regularidad.

**Represión del escape de cloro**

224. Se deben tener a mano materiales y equipo, con inclusión de láminas de plástico (párrafo 226), para contener los escapes de cloro.

225. Una provisión de arena puede ser útil para contener el derrame de cloro líquido.

226. La necesidad de disponer de rociadores de espuma o de agua se debe examinar con el cuerpo de bomberos local y el abastecedor del cloro, puesto que el empleo de espuma y agua puede en algunas circunstancias agravar el problema. Si el derrame se produce en un lugar cerrado y está contenido, se cubrirá rápidamente con una capa de vapor frío y otra capa protectora de hidrato de cloro espeso. La aplicación de espuma provocaría una evolución renovada del vapor debido al calor proporcionado. El cubrimiento de un derrame estabilizado con láminas de plástico suele ser la mejor solución. El cuerpo de bomberos puede disponer de reservas de espuma adecuada, pero la decisión de utilizarla se debe adoptar conjuntamente con el director técnico superior del emplazamiento.

## Selección y capacitación de los trabajadores e instrucciones de funcionamiento

227. El principal peligro de que se escape cloro al medio ambiente se deriva del funcionamiento incorrecto de la planta. Por tanto, la selección y la capacitación de los encargados del proceso son sumamente importantes para un funcionamiento eficaz y seguro.

228. Para todas las maniobras y los procedimientos relacionados con la descarga de las cisternas de cloro líquido, el funcionamiento de la instalación de almacenamiento y de utilización del cloro se requieren instrucciones de manejo detalladas.

229. Se han de definir de manera pormenorizada los procedimientos necesarios para la puesta en servicio y el cierre de la planta y las pruebas e inspecciones periódicas de la planta, así como las medidas de emergencia que se deben adoptar para hacer frente a derrames de cloro y escapes de gas.

**Selección y capacitación del trabajador**

230. Es necesario proceder a una meticulosa selección de los trabajadores de las plantas que manipulan cloro a granel. Es esencial que el personal elegido se encuentre en un estado físico adecuado y que pase un reconocimiento médico antes de ser contratado. Los objetivos de los exámenes médicos anteriores al empleo y periódicos se examinan en las notas de orientación MS 18 y 20. Los trabajadores han de ser capaces de comunicarse con eficacia y es preciso que se pueda confiar en ellos cuando trabajan en condiciones de tensión. Es muy positiva la experiencia previa en la industria química o en otra industria análoga.

231. La capacitación del trabajador debe abarcar la instrucción fuera del empleo y en el empleo.

232. La formación fuera del empleo debe incluir la información básica acerca de la propiedades físicas, químicas y toxicológicas del cloro, así como descripciones

detalladas de las maniobras que han de realizar. Se debe proporcionar a los trabajadores protección personal, ropa, protección de los ojos, etc., en la forma que resulte apropiada, así como instrucción en cuanto a su uso. La formación en el empleo se debe llevar a cabo con la orientación de un trabajador experimentado que conozca el proceso, y el personal de dirección y supervisión debe asimismo participar en la capacitación. Conviene insistir en las precauciones de seguridad y en los métodos de afrontar las situaciones de emergencia.

233. El programa de capacitación debe abarcar los procedimientos relativos a las actividades especiales que se realizan sólo con intervalos poco frecuentes; por ejemplo, el cierre de la planta, el aislamiento y la preparación del equipo para el mantenimiento y la inspección y la nueva puesta en servicio de la planta. Es preciso asimismo impartir una instrucción teórica y práctica sobre el uso de los aparatos de respiración.

234. La actualización de la instrucción se debe llevar a cabo con regularidad y con intervalos definidos.

**Instrucciones de funcionamiento**

235. Con respecto a todas las actividades regulares y de emergencia previsibles, se requieren instrucciones escritas sobre el funcionamiento; éstas pueden ser desde tarjetas de orientación para actividades sencillas hasta manuales completos.

236. Las instrucciones sobre el funcionamiento deben abarcar de manera detallada todas las operaciones del proceso y el director responsable del funcionamiento de la sección de la planta de que se trata debe publicarlas oficialmente. Asimismo, es responsable de autorizar cualquier modificación posterior.

237. En la zona de trabajo, para los trabajadores, y en el centro de control, para los supervisores, debe haber ejemplares de las instrucciones en disponibilidad de consulta; éstas deben incluir un diagrama de fabricación e indicar las válvulas que se han de cerrar en caso de emergencia.

238. Los supervisores deben verificar con periodicidad que las actividades se realizan exactamente de conformidad con las instrucciones escritas.

## Mantenimiento

239. El mantenimiento satisfactorio de la planta, el equipo y los instrumentos es esencial para reducir al mínimo los peligros.

240. Es preciso preparar planes que definan la frecuencia requerida de la prestación de servicios, la realización de pruebas y las inspecciones; es preciso respetar estrictamente esos planes y dejar constancia adecuada de ellos.

241. Se debe disponer de instrucciones escritas, detalladas y relativas a todas las actividades de mantenimiento regular. Esas instrucciones deben ser aprobadas oficialmente y publicadas por el ingeniero de mantenimiento responsable. Los supervisores deben verificar con periodicidad que el trabajo se lleva a cabo de acuerdo con esas instrucciones.

242. Es preciso establecer un estrecho vínculo entre el ingeniero de mantenimiento y el jefe de fabricación para que el trabajo de mantenimiento comience sólo una vez que el equipo de que se trate haya sido adecuadamente preparado por el personal de fabricación y esté exento de cloro.

243. Se requiere que todo el personal de mantenimiento tenga una formación adecuada. Esa formación debe incluir información básica sobre las propiedades del cloro, las precauciones de seguridad y los procedimientos de emergencia.

**Procedimientos de autorización**

244. Hace falta establecer procedimientos formales de autorización como parte de un sistema de permiso para trabajar, con el fin de:

*a)* velar por que la planta esté en estado satisfactorio, adecuadamente aislada y libre de cloro;

*b)* abarcar todo el trabajo en la zona del cloro que requiera el uso de grúas, equipo móvil, equipo para soldar u otro material de la planta que pueda provocar un daño accidental en el circuito del cloro. Esta salvaguardia es necesaria incluso si el trabajo no afecta de modo directo a las tuberías o al equipo que contienen cloro;

*c)* aceptación oficial de la reanudación de la fabricación en la planta después de haber completado el trabajo.

**Modificaciones del circuito del cloro**

245. Las modificaciones del circuito del cloro no deben nunca efectuarse sin una autorización específica. Esto garantiza que el personal responsable de las secciones de explotación e ingeniería involucradas darán su aprobación primero; y es preciso establecer procedimientos

para examinar cualquier alteración que se requiera. Las modificaciones propuestas deben estudiarse de preferencia con los abastecedores de cloro líquido.

246. En el proyecto de reglamento sobre sistemas de presión y contenedores de gas transportables (documento consultivo 1984) figuran esquemas escritos sobre las actividades de examen y mantenimiento y disposiciones relativas a un control adecuado de las reparaciones y las modificaciones. Cualquier modificación o reparación que pueda afectar a la integridad de la instalación tendrá que ser determinada y revisada por una persona competente.

## Procedimientos de emergencia

***Nota.*** Otras pautas figuran en el reglamento CIMAH de 1984 y en publicaciones conexas. El reglamento CIMAH contiene disposiciones específicas relativas a los procedimientos de emergencia en algunos emplazamientos de cloro.

247. Se debe preparar un plan de actividades de emergencia para hacer frente a todo el conjunto de posibles escapes de cloro y se debe poner un ejemplar del plan a disposición de todo el personal que participa en su aplicación.

248. Cada fábrica debe contar con medios para advertir a todos los trabajadores que se ha producido un escape de gas y en las instrucciones escritas deben determinarse las medidas apropiadas que se han de adoptar después de haberse advertido que se ha producido un escape de gas.

249. Si el escape de gas es de menor importancia, sólo serán necesarias medidas sencillas, pero si es grave, se deberá hacer otra advertencia especial, que inicia el plan de emergencia de la fábrica.

250. Conviene organizar prácticas regulares del plan de emergencia con los servicios de policía, bomberos, hospitales y ambulancias.

### Detectores de cloro

251. Una pronta advertencia de un escape de cloro, en particular en los edificios en los que no hay constantemente personal, tiene la ventaja de posibilitar la adopción de unas prontas medidas correctivas (véase el párrafo 103). Los edificios que albergan tanques de almacenamiento o vaporizadores de cloro deben estar dotados de detectores de cloro y alarmas. Su utilidad al aire libre depende del tamaño de la instalación y de los niveles de dotación de personal y tiempos de respuesta que se pueden lograr. Entre los sistemas de alarma recomendados cabe mencionar los siguientes: una alarma audible, local y separada; una luz de aviso fuera del edificio y señales visuales y audibles en la sala de control.

### Centrales de alarma locales

252. Las centrales de alarma locales para dar la alerta de un escape de cloro son un eslabón esencial en el procedimiento de emergencia. Las centrales de alarma locales (de preferencia del tipo automático) deben estar emplazadas en lugares estratégicos cerca de las instalaciones de almacenamiento del cloro; por lo general bastan dos centrales de alarma ubicadas en lugares convenientes, situados en la ruta del escape de la terminal de descarga del cloro y de la zona del tanque de almacenamiento. Las centrales de alarma locales pueden poner en práctica directamente el plan de emergencia de la fábrica dando la alarma en el centro de control de emergencia y en la sala de control principal. En las grandes fábricas es preferible que la central de alarma local ponga en funcionamiento una alarma separada y local con respecto al cloro para que el personal abandone la zona afectada.

253. Las centrales de alarma pueden asimismo poner en funcionamiento las válvulas de cierre de control remoto en los tanques de almacenamiento del cloro, cuando ello es compatible con el funcionamiento seguro de la planta del usuario.

### Plan de emergencia de la fábrica

***Nota.*** Para un debate más a fondo de los planes de emergencia, véase el folleto del HSE HS(G) 25 *Further guidance on emergency plans.*

254. Las fábricas deben contar con un plan de emergencia para hacer frente a escapes importantes de cloro. El plan debe incluir instrucciones para el equipo de emergencia y para el personal no esencial, así como con respecto al enlace con los servicios de urgencia. El plan de emergencia puede basarse en la publicación de la CIA *Recommended Procedures for Handling Major Emergencies.* Algunos elementos del plan se indican en los párrafos siguientes.

255. El plan puede incluir instrucciones detalladas con respecto a las medidas siguientes:

*a)* dar la alarma;

*b)* investigar y evaluar la fuente y amplitud del escape de cloro;

*c)* alertar a todo el personal del emplazamiento o de los locales vecinos y a los servicios de emergencia. Establecer centros de control de las emergencias y encargar al personal esencial que evalúe el incidente y las medidas de emergencia consiguientes dentro y fuera del lugar donde se ha producido;

*d)* métodos de lucha contra los escapes de cloro;

*e)* sistemas de búsqueda de las víctimas y determinación del personal presente en el lugar;

*f)* métodos de evaluar la dirección y la concentración de la nube de gas;

*g)* criterios para determinar si se debe evacuar al personal no esencial o para advertirle que se quede dentro de los edificios con las puertas, las ventanas y las salidas de ventilación cerradas;

*h)* métodos para evaluar si las personas situadas fuera del lugar deben adoptar las medidas correspondientes y, en particular, establecer enlace con la dirección de cualquier trabajo subterráneo realizado en las inmediaciones en que el cloro pueda penetrar en el circuito de ventilación. Advertir a los servicios de emergencia de la dirección, dispersión y concentración de la nube de gas;

*j)* primeros auxilios a las víctimas del emplazamiento y disposiciones relativas a la evacuación, cuando sea aconsejable y factible. Indicar al servicio de ambulancias las rutas que se han de seguir.

256. Como cada instalación tiene sus características especiales, se necesitará un plan detallado sobre cada planta particular. La dirección local debe ser responsable de la preparación del plan que se ha de establecer en colaboración con las autoridades locales, la policía, los bomberos, los servicios de hospitales y ambulancias, el organismo local de seguridad e higiene y el abastecedor del cloro. El reglamento sobre la prevención y lucha contra los riesgos de accidentes industriales graves de 1984 establece los deberes específicos de algunas de estas personas.

**Centros de control de las situaciones de emergencia**

257. Los requisitos fundamentales para que un sistema haga frente de manera satisfactoria a una situación de emergencia resultante de un escape grave de cloro se indican a continuación:

*a)* se debe disponer de dos centros de control con el fin de que, de producirse un escape de gas, las operaciones se puedan controlar desde el centro que ha resultado menos afectado en las condiciones atmosféricas imperantes;

*b)* cada centro debe disponer de una línea telefónica externa separada, así como de conexiones con el sistema telefónico externo e interno de la fábrica;

*c)* en los centros se debe disponer de un equipo de emergencia adecuado (aparatos de aire comprimido, cantidades de espuma adecuadas según lo convenido con los servicios de emergencia, ropa de protección, etc.) (véanse los párrafos 222 a 226);

*d)* se debe disponer de instalación y servicios de primeros auxilios de urgencia, con inclusión de equipo para la administración de oxígeno;

*e)* se debe contar con un mapa en gran escala (1:25000 o 1:10000) de la zona circundante para poder determinar qué partes de la fábrica y de los alrededores es probable que sean afectados;

*f)* en cada centro de control se deben colocar en lugares visibles indicadores de la dirección del viento;

*g)* se necesitan equipo e información para evaluar la extensión probable de la nube de gas con respecto a diversas magnitudes de escape y a diversas condiciones climáticas.

258. El plan de emergencia tiene que indicar de antemano las personas y los delegados responsables de las medidas necesarias para hacer frente a la emergencia.

**Equipo de emergencia del emplazamiento**

259. Se debe contar con un equipo de emergencia adiestrado e integrado por el personal esencial siguiente:

*a)* *Inspector del incidente del emplazamiento.* Debe ser un empleado de categoría superior responsable en el emplazamiento de la iniciación del plan de emergencia y de la dirección de las operaciones;

*b)* *Inspector principal en el emplazamiento.* Normalmente es el director de fabricación o su delegado y tiene la responsabilidad general de la aplicación del plan de emergencia. Mantendrá un estrecho enlace con los servicios de policía y bomberos y les advertirá del peligro;

*c)* *Otro personal esencial.* Incluye:
   i) el equipo responsable del control del escape de cloro;

ii) el equipo responsable de la búsqueda de víctimas, de los primeros auxilios y del control de la evacuación.

260. La policía se ocupará de los miembros de la población que puedan haber sido afectados por el escape de cloro; tendrá que estar al corriente de la magnitud y duración prevista del escape y de las zonas posiblemente afectadas, para determinar, junto con el inspector principal del emplazamiento, si conviene que la población no salga de casa o sea evacuada.

**Areas de reunión en caso de emergencia**

261. Se deben designar áreas de reunión de emergencia para el personal que no pertenezca al equipo de emergencia, en caso de producirse un escape de cloro. Las áreas de reunión permiten contar a los miembros del personal y organizar la evacuación, si es preciso proceder a ésta. El área de reunión debe estar situada de preferencia en la periferia del emplazamiento de la fábrica y tener unas salidas adecuadas para la evacuación. Un edificio con pisos altos situado de cara al viento del escape de cloro puede ofrecer suficiente protección, mientras se procede a combatir el escape. La evacuación del personal a las áreas de reunión debe estar dirigida por un miembro responsable del equipo de emergencia, el cual deberá tener en cuenta la dirección del viento. Habrá ocasiones en que la evacuación fuera del emplazamiento no sea la mejor medida, por ejemplo, cuando el escape es repentino y de duración limitada.

**Cuidado de las víctimas**

262. Las personas que han inhalado gas de cloro deben quedarse quietas con la cabeza y el pecho elevados. Deben estar abrigadas. Es esencial obtener rápidamente los cuidados de un médico calificado, dado que pueden aparecer síntomas graves hasta 48 horas después. Todas las personas afectadas por el gas de cloro deben ser reconocidas localmente por un personal médico competente o enviadas en ambulancia a un hospital.

263. Las personas que prestan los primeros auxilios deben conocer los peligros derivados de la asfixia con cloro. Se deben respetar las normas básicas siguientes:

*a)* si el cloro ha afectado a los ojos, éstos se deben lavar de inmediato con mucha agua limpia (de preferencia agua del grifo);

*b)* se debe quitar la ropa contaminada y la piel afectada se debe lavar con mucha agua;

*c)* no se debe aplicar la respiración artificial si el paciente está respirando. (No obstante, un personal adecuadamente calificado puede administrar oxígeno.)

## Apéndice 1. Propiedades del cloro

1. El cloro es un gas de color amarillo verdoso a temperatura y presión ambientes. Se vende comercialmente en contenedores de acero como líquido bajo presión.

2. El cloro líquido comercial se ajusta a la norma BS 3947:1976. Esta norma especifica un límite mínimo de contenido de cloro y unos niveles máximos de contenido y residuos de agua en la evaporación; se indican también detalles de los métodos de análisis para captar impurezas gaseosas (dióxido de carbono, oxígeno y nitrógeno), contenido de agua, tricloruro de nitrógeno y residuos de la evaporación.

3. Las trazas de impurezas gaseosas disueltas en el cloro no suelen ser importantes para la mayor parte de las aplicaciones; sin embargo, el contenido de humedad es sumamente importante debido al carácter corrosivo del cloro húmedo.

4. Los residuos que quedan después de la evaporación, normalmente productos orgánicos clorados o cloruro férrico, pueden ser molestos dada la posibilidad de que provoquen el bloqueo de las tuberías, las válvulas o los instrumentos; el tricloro de nitrógeno puede ser potencialmente peligroso si el proceso de evaporación provoca su concentración en residuos.

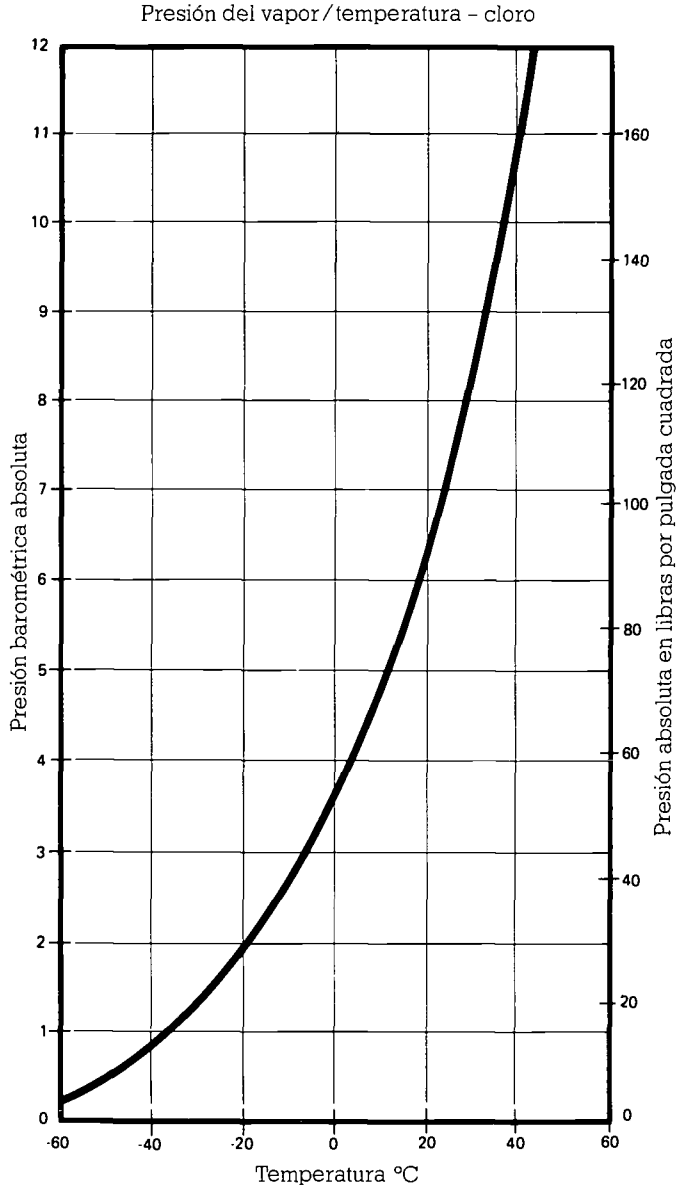
5. **Propiedades físicas**

| | | |
|---|---|---|
| Peso atómico | | 35,46 |
| Peso molecular | | 70,91 |
| Densidad | | |
| | *Líquido* | 1 561 kg/m$^3$ a -35 °C<br>1 468 kg/m$^3$ a -0 °C<br>1 410 kg/m$^3$ a +20 °C |
| | *Gas* | 3214 kg/m$^3$ a 0 °C/760 mmHg (densidad relativa 2 490 a 20 °C en relación con el aire) |
| Punto de ebullición a 760 mmHg | | -34,05 °C |
| Punto de fusión | | -101 °C |
| Temperatura crítica | | 144 °C |
| Presión crítica | | 77,1 bars (absoluta) |
| Presión del vapor a 20 °C | | 6,7 bars (absoluta) |

| | |
|---|---|
| Viscosidad: Líquido a 20 °C | 0,35 químicamente puro |
| 1 volumen de cloro líquido | = 457 volúmenes de gas de cloro a 0 °C/760 mmHg |
| 1 libra de cloro líquido | = 4,98 pies cúbicos de gas de cloro a 0 °C/760 mmHg |
| 1 kilo de cloro líquido | = 0,315 $m^3$ de gas de cloro a 0 °C/760 mmHg |

La presión de vapor del cloro líquido se indica en la figura 1.1.

**Figura 1.1. Presión del vapor / temperatura - cloro**




**Propiedades térmicas**

| | |
|---|---|
| Calor específico (Cloro líquido entre 1 °C y 27 °C) | 0,236 kcal/kg/ °C |
| Calor específico (Gas a presión constante de 100 psia o menos y entre 1 °C y 27 °C) | 0,113 kcal/kg/ °C |
| Relación del calor específico a presión constante con el calor específico a volumen constante | 1,355 |
| Calor latente de fusión | 21,6 kcal/kg |
| Calor latente de evaporación a 0 °C | 63,2 kcal/kg |
| Coeficiente de expansión cúbica (cloro líquido a 20 °C) | 0,0021 por °C |
| Calor de reacción del gas de cloro con solución de hidróxido de sodio | 348 kcal/kg de cloro |

6. Si bien los datos arriba mencionados corresponden a un resumen general de las propiedades físicas y térmicas del cloro, se recomienda que, para los cálculos del diseño de la planta, se utilice una información más exacta obtenida de la bibliografía.

**Solubilidad del cloro en el agua**

7. El cloro se disuelve ligeramente en el agua para dar una solución que tiene propiedades oxidantes, decolorantes y germicidas. La solubilidad del cloro en el agua aumenta con la presión parcial del cloro. En el cuadro que figura a continuación se indica la solubilidad del cloro en agua para una presión total de 760 mmHg.

| *Temperatura °C* | 10 | 15 | 20 | 25 |
|---|---|---|---|---|
| *Gramos de cloro por litro de agua* | 9,97 | 8,5 | 7,29 | 6,41 |

8. Al enfriar por debajo de 9,6 °C, se depositan cristales de hidrato de cloro ($Cl_2$ $8H_2O$). Por esta razón, el cloro húmedo del proceso debe siempre mantenerse por encima de esa temperatura para evitar los bloqueos que podrían producirse de otro modo, como resultado de la formación de hidrato de cloro sólido.

9. Una solución de cloro en el agua forma ácido hidroclórico y ácido hipocloroso: $Cl_2 + H_2O \rightarrow HCl + HOCl$.

**Propiedades químicas**

10. El cloro seco a temperatura ambiente reacciona de forma directa con muchos de los elementos que producen cloruros de no metales (por ejemplo, azufre o fósforo) y de metales (por ejemplo, hierro en una forma finamente dividida, aluminio o titanio). El cloro seco a temperatura ambiente no ataca el acero, el cobre ni el níquel en la forma sólida, pero ataca a estos metales a temperaturas más altas. El acero se fusiona con el cloro seco a más de 200 °C y, como la reacción es exotérmica, la velocidad de la reacción puede aumentar con rapidez. Con el níquel la reacción no se produce hasta que la temperatura supera los 500 °C.

11. Unos indicios de humedad en el cloro provocan la rápida corrosión del acero, el cobre y el níquel.

12. El titanio es resistente al cloro húmedo hasta una temperatura de unos 100 °C, pero no al cloro seco.

13. El cloro se disuelve en soluciones acuosas alcalinas frías para producir soluciones de hipocloritos; en álcalis acuosos calientes o en ebullición se pueden producir cloratos.

14. El cloro reacciona enérgicamente con muchos compuestos orgánicos incluidos los aceites minerales y las grasas, para dar productos clorados. El mecanismo consiste en la adición directa a enlaces no saturados o en la sustitución de hidrógeno. En este último caso se forma cloruro de hidrógeno como un subproducto.

15. Las mezclas de cloro e hidrógeno son explosivas en un amplio campo de concentraciones; la explosión puede iniciarse con una chispa, por acción fotoquímica o por un catalizador. En ciertas condiciones la reacción del cloro con el amoníaco puede producir tricloruro de nitrógeno, que es espontáneamente explosivo.

**Selección de materiales de construcción**

16. La elección de los materiales adecuados de construcción para los circuitos de cloro debe examinarse con el abastecedor de cloro líquido y confirmarse sólo después de efectuar un estudio detallado de todas las variaciones posibles de las condiciones de funcionamiento.

17. Un circuito construido de acero, que es apropiado para el cloro seco, debe a su vez secarse adecuadamente antes de ponerse en servicio. Esto se puede efectuar mediante la purga con aire seco o gas inerte hasta que la purga de salida tenga un punto de rocío inferior a -40 °C. Sin embargo, la temperatura de funcionamiento superior debe limitarse.

18. El uso de metal de titanio para el cloro húmedo es satisfactorio, con la condición de que el nivel de humedad se mantenga siempre elevado y que se controle el límite superior de la temperatura funcional. Los procedimientos de mantenimiento e inspección deben incluir la toma de conciencia de la posibilidad de corrosión en el interior de las fisuras. Sin embargo, cuando se utiliza el titanio en plantas que contienen cloro húmedo (gas o liquido) se debe tener en cuenta la posibilidad de un estado defectuoso que provoque el contacto entre el titanio y el gas o líquido de cloro seco. Si es probable que ocurra esa deficiencia, sería preferible estudiar la posibilidad de utilizar otros materiales de construcción.

19. Entre los materiales que son resistentes al ataque del cloro *gaseoso* húmedo o seco a temperatura ambiente cabe mencionar el vidrio, el gres, la porcelana, el tantalio, la ebonita y ciertos plásticos. El uso de materiales plasticos distintos del politetrafluoretileno (teflón) o materiales afines con cloro *líquido* es por lo general insatisfactorio.

**Propiedades toxicológicas**

20. El límite de exposición recomendado con respecto al cloro es de 1 ppm (v/v), concentración que es apenas detectable por el olor. El límite de exposición de corta duración es de 3 ppm.

21. La exposición al cloro en niveles en torno a 15 ppm causa irritación de las membranas mucosas de los ojos y la nariz, y en especial de la garganta y los pulmones. Las concentraciones de 50 ppm o más son peligrosas incluso con exposiciones breves; pueden causar la inflamación de los pulmones con acumulación de fluido. Esos síntomas pueden no aparecer de inmediato, pero darse repentinamente hasta dos días después de la exposición al gas. El contacto de cloro líquido con la piel o con membranas mucosas puede producir quemaduras.

## Apéndice 2. Instalaciones externas e instalaciones internas (párrafo 14)

1. Una instalación de cloro debe emplazarse de preferencia al aire libre; sin embargo, en ciertas circunstancias puede resultar apropiada la instalación en un edificio.

2. Un edificio puede albergar toda la instalación o únicamente las tapas, válvulas, tuberías conexas, indicadores y otro equipo, en tanto que la cisterna propiamente dicha queda fuera.

3. Las ventajas, desventajas y consiguientes requisitos de ambas opciones se indican a continuación.

**Instalaciones externas**

4. Las ventajas de una instalación externa son las siguientes:

*a)* los escapes no se confinan y, por tanto, la fuente del escape es más accesible sin problemas desde el lado opuesto a la dirección del viento;

*b)* la identificación del punto de escape es más fácil, lo que facilita la adopción de medidas correctivas locales inmediatas;

*c)* el acceso a la instalación para el mantenimiento principal es más fácil;

*d)* los costos del edificio son inferiores.

5. Las desventajas de una instalación externa son las siguientes:

*a)* los escapes sólo se podrán detectar en una fase inicial desde situaciones a favor del viento;

*b)* pueden producirse sin que se adviertan pequeños escapes, particularmente los provocados por la corrosión;

*c)* es posible que los trabajos de mantenimiento y reparación deban efectuarse en condiciones climáticas adversas.

6. De cuanto antecede se deduce que las instalaciones externas necesitan:

*a)* una estricta vigilancia y protección contra la corrosión;

*b)* la protección contra posibles daños mecánicos y un acceso no autorizado;

*c)* un sistema de emergencia apropiado, que incluya de ser posible procedimientos para el uso de rociadores de agua a fin de dispersar las nubes de gas y aplicaciones de espuma al derrame de cloro líquido;

*d)* consideración de la conveniencia de prestar protección contra la intemperie a zonas esenciales para el mantenimiento, en forma de toldo permanente o de protección temporal;

*e)* presencia permanente de un equipo de hombres en el emplazamiento, si el escape de cloro puede producir consecuencias graves dentro o fuera de éste.

**Instalaciones interiores**

7. Las ventajas de las instalaciones interiores son las siguientes:

*a)* las válvulas y otros elementos del equipo están protegidos de la lluvia y la nieve y, con la condición de que el edificio se mantenga seco, existe menos riesgo de corrosión;

*b)* es posible un calentamiento ambiente para crear un entorno seco y aumentar la presión del vapor de cloro en los procesos en que no es aceptable el relleno con gas inerte/aire;

*c)* es posible una ventilación controlada, limitando los efectos externos si el escape es bastante pequeño;

*d)* existe una mayor probabilidad de que un dispositivo de vigilancia detecte un escape; esto es particularmente ventajoso en plantas automáticas;

*e)* la instalación está protegida contra los daños mecánicos, las explosiones o los incendios accidentales en la planta adyacente o contra la intromisión de personas no autorizadas.

8. Las desventajas de las instalaciones interiores son las siguientes:

*a)* un escape mediano o importante provocará una alta concentración local de gas y, por tanto, habrá que hallar un acceso de emergencia a una atmósfera tóxica cerrada;

*b)* el punto del escape puede ser difícil de descubrir debido a la falta de dispersión y formación de vaho;

*c)* si el edificio cuenta con calefacción, habrá una mayor evaporación a partir del suelo y se producirá un rápido avance del escape de líquido;

*d)* es probable que resulte más difícil el acceso para el mantenimiento.

9. De ahí se deduce que las instalaciones interiores requieren:

*a)* unos sistemas de ventilación por presión adecuados, con inclusión de la iniciación desde los puntos de funcionamiento exteriores e interiores del edificio;

*b)* el examen meticuloso de la disposición de la planta y la facilitación de vías de escape adecuadas y de un equipo respiratorio de salvamento;

*c)* unos sistemas de emergencia apropiados, incluido el suministro de aparatos de respiración autónomos, además de las máscaras para gases normales y ropa protectora.

## Apéndice 3. Publicaciones y normas

La legislación y las publicaciones de la Junta Ejecutiva de Higiene y Seguridad y de la Comisión de Higiene y Seguridad.

**Comité consultivo sobre los riesgos de accidentes mayores**

Primer informe 1976
Segundo informe 1979
Tercer informe 1984

**Legislación**

Ley de fábricas de 1961.
Reglamentos sobre las fábricas de productos químicos de 1922.
Ley reguladora de las fábricas de álcalis de 1906 (modificada por el Reglamento de salud y seguridad (emisiones en la atmósfera) de 1983).
Ley sobre salud y seguridad en el trabajo, etc. de 1974.
Reglamento sobre sustancias peligrosas (transporte por carretera en camiones cisterna y en contenedores cisterna) de 1981.

Reglamento sobre la notificación de instalaciones en dande se manipulan sustancias peligrosas de 1982.

Reglamento sobre la presentación de informes relativos a las lesiones, enfermedades e incidentes peligrosos de 1985.

Reglamento sobre el control de los riesgos de accidentes industriales graves de 1984.

**Proyectos de legislación (publicación de documentos consultivos)**

Reglamentos sobre el control de las sustancias peligrosas para la salud.

Reglamentos sobre los sistemas de presión y los contenedores de gas transportable (1984).

**Códigos consultivos, notas de orientación, códigos aprobados**

Nota de orientación EH 40, *Occupational exposure limits* 1985.
Nota de orientación GS 4, *Safety in pressure testing.*
Proyectos de códigos de prácticas aprobados con respecto al reglamento relativo a los sistemas de presión y contenedores de gases transportables.
Código de prácticas aprobado con respecto al reglamento de normas funcionales relativas a las sustancias peligrosas (transporte por carretera en camiones cisterna y en contenedores cisterna) de 1981.
Nota de orientación GS 5 *Entry into confined spaces.*
Nota de orientación MS 18 *Health surveillance by routine procedures.*
Nota de orientación MS 20 *Pre-employment health screening.*
Folleto HS(G)25 *Further guidance on emergency plans.*
Notas sobre los mejores medios aplicables, BPM 18, *Chlorine works.*

**Asociación de Industrias Químicas**

Codes of Practice for Chemicals with Major Hazards – Chlorine.
Major Hazards-Memorandum of Guidance on Extensions to Existing Chemical Plant Introducing a Major Hazard.
Inter-Company Collaboration for Chlorine Emergencies.
Safety Audits – A Guide for the Chemical Industry.
Is it Toxic?
A Guide to Hazard and Operability Studies.
Recommended Procedures for Handling Major Emergencies.

**Chlorine Institute, Inc.**
**70 W40 Street, Nueva York, NY 10018, EUA**

Chlorine Manual (4ª edición, 1969).

**National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)**

US Department of Health, Education and Welfare Public Health Service
Centre for Disease Control
NIOSH
Cincinnati
OHIO 45226 Estados Unidos de América

*Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Chlorine*

**Normas británicas**

BS 3947: 1976 *Specification for Liquid Chlorine.*
BS 5355: 1976 *Specification for Filling Ratios and Developed.*
*Pressures for Liquefiable and Permanent Gases.*
BS 5500: *1982 Unfired Fusion Welded Pressure Vessels.*

BS 3351: 1971 *Piping Systems for Petroleum Refineries and Petrochemical Plants.*
BS 1560: *Steel Pipe Flanges and Flanged Fittings (Nominal Size ½ in to 24 in) for the Petroleum Industry.*
BS 1560: Part 2: 1970 *Metric Dimensions.*
BS 4882: 1973 *Bolting for Flanges and Pressure Containing Purposes.*
BS 2815: 1973 *Compressed Asbestos Fibre Jointing.*
BS 2915: *Bursting Discs and Bursting Disc Assemblies.*
BS 1501: *Steels for Fired and Unfired Pressure Vessels. Plates.*
BS 1501: Part 1: 1980 *Carbon and Carbon Manganese Steels.* Unidades inglesas.
BS 1501: Part 2: 1970 *Alloy Steels.* Unidades inglesas.
Addendum No. 1 (1973) to BS 1501: Part 2: 1970.
Addendum No. 2 (1975) to BS 1501: Part 2: 1970.
BS 1501: Part 3: 1973 *Corrosion and Heat Resisting Steel.* Unidades inglesas.
BS 1501-1: 1958 *Steels for use in the Chemical Petrochemical and Allied Industries.*
*Chlorine - Its Manufacture, Properties and Uses* ACS Monograph Series J S Sconce (1962).
*Le Chlore,* Institut National de Recherche et de Sécurité, París, 1978.

**Bureau International Technique du Chlore, Avenue Louise 250, Bte 72, 1050 Bruselas, Bélgica**

Informes relativos a las recomendaciones del Subcomité de Transporte y Almacenamiento de Cloprina.

**Direcciones de productores de cloro**

Hays Chemicals Ltd, Murgatroyd Division, Sandbach, Cheshire CW11 9PZ, Reino Unido.
Imperial Chemical Industries PLC, Mond Division, PO Box No 13, The Heath, Runcorn, Cheshire WA7 4QF, Reino Unido.
Staveley Chemicals Ltd, Staveley Works, Chesterfield S43 2PB, Reino Unido.
The Associated Octel Company Ltd, PO Box 17, Ellesmere Port, Wirral, Cheshire L65 4HF, Reino Unido.

## Apéndice 4. Procedimientos para la descarga de camiones cisternas de cloro (véase el párrafo 40)

**Nota.** Este procedimiento típico parte del supuesto de que los tanques de almacenamiento y los elementos conexos de equipo tienen una presión de trabajo admisible de por lo menos 175 psig. Si no es así, la presión del circuito de aire, los dispositivos de desahogo, etc., tendrán que modificarse en consecuencia y los sistemas de entrega tendrán que organizarse de manera que puedan funcionar dentro de los límites de todos los componentes.

*Medida*

1. Seguridad. Los procedimientos están diseñados para reducir al mínimo las posibilidades potenciales de escape, asegurando que todas las junturas recientemente instaladas sean puestas a prueba por medición de presión de gas con sólo una pequeña cantidad de líquido como máximo. Durante esas pruebas se debe llevar una máscara de gas. De forma análoga, se debe llevar también una máscara de gas durante la desconexión, cuando existe la posibilidad de que se produzca un escape de pequeña cantidad de vapor residual. Durante el resto de las operaciones esa máscara debe estar constantemente a disposición.

*Cliente*

2. Pondrá en funcionamiento todas las válvulas en la instalación de almacenamiento a granel, incluida la tubería de llenado.

*Conductor*

3. Al llegar a la fábrica procederá al pesado en la báscula puente y se dirigirá a continuación al lugar de descarga.

*Conductor*

4. Colocará la cisterna en el lugar de descarga y calzará el camión para impedir que se mueva.

*Conductor*

5. Presentará sus notas al funcionario responsable. Al firmar estas notas, el cliente acepta la responsabilidad de que existe espacio suficiente disponible en el depósito de almacenamiento para recibir toda la carga del camión cisterna y de que la instalación es adecuada y está lista para la descarga.

*Conductor*

6. Indicará al *encargado de la instalación* el peso del cloro en la cisterna con el fin de que pueda determinar si la lectura final se efectuará en el cuadrante de la báscula o en el indicador del dispositivo para medir la carga.

*Cliente*

7. Velará por que se coloquen los avisos y barreras necesarios y conectará los dispositivos de inmovilización de seguridad del lugar de descarga del camión cisterna.

*Cliente*

8. Cuando existan dos o más depósitos, el cliente determinará qué depósito va a recibir la carga y verificará que no esté excesivamente lleno. La presión en la cisterna antes de comenzar la descarga normalmente no debe ser superior a los 85 psig, pero si hace mucho calor, puede ser superior.

*Cliente*

9. *Antes* de la descarga, velará por que la válvula de ventilación de la tubería de entrada del depósito de almacenamiento esté CERRADA.

*Conductor*

10. Con la máscara de gas puesta, retirará las dos tapas de las válvulas del camión cisterna y las piezas de obturación del cliente y verificará que no hay escapes. Utilizando los anillos de las junturas de los nuevos filtros de admisión de portadora, conectará el suministro de aire y los brazos de descarga del líquido a las válvulas adecuadas de la cisterna.

*Conexión*

11. Con la máscara de gas puesta, aplicará presión a la conexión de descarga, de preferencia abriendo por breve tiempo la válvula del depósito de almacenamiento. Otro método, menos deseable, consiste en abrir la válvula de descarga de la cisterna *momentáneamente*. El conductor, con máscara de gas, prueba las conexiones de la tubería de descarga utilizando agua amoniacal. Si la prueba es satisfactoria, el conductor puede quitarse la máscara de gas y a continuación pedir al encargado de la instalación que abra la válvula de la tubería que llena el depósito y que está colocada detrás de la palanca de mando. La válvula del líquido de la cisterna se puede *abrir lentamente* para llenar la tubería de entrada: la presión observada será la del camión cisterna.

*Conexión*

12. Poner en marcha el compresor de aire y, cuando la presión de la tubería sea de 120 psig, abrir el camión cisterna. Cuando la presión del camión cisterna (indicada en su tubería de llenado) sea de 25 psig por encima de la presión del depósito de almacenamiento, pedir al *encargado de la instalación* que abra la válvula del depósito de almacenamiento apropiado y que comience la descarga del camión cisterna.

*Conexión*

13. Verificar que la descarga del camión cisterna se está efectuando de modo satisfactorio en el cuadrante de la balanza o en el indicador del dispositivo para medir la carga.

*Conexión*

14. Verificar la presión del depósito de almacenamiento mientras se está efectuando la descarga. Si la presión se eleva a 90 psig, pedir al cliente que abra ligeramente la válvula de ventilación del depósito para reducir la presión.

*Conexión*

15. Cuando el camión cisterna se ha descargado completamente, se observa:

*a)* una fluctuación del medidor de presión en la tubería de entrada del cloro líquido;

*b)* la igualación de las indicaciones de la presión de la cisterna y de la tubería.

*Conexión*

16. Cerrar la válvula del líquido y la válvula del aire del camión cisterna. Cerrar el compresor de aire. Pedir al *encargado de la instalación* que cierre la válvula del depósito de almacenamiento y la válvula de ventilación de ese depósito, si se ha abierto. Pedir al *encargado* que abra ligeramente la válvula de ventilación de la tubería que llena el depósito de almacenamiento. Cuando la escarcha empiece a desaparecer y el manómetro indique cero, pedir al encargado que cierre la válvula al extremo de la tubería de descarga del líquido. Cerrar la válvula de ventilación de la tubería de llenado.

*Cliente*

17. Abrir ligeramente la válvula de ventilación del depósito de almacenamiento durante cerca de un minuto, con el fin de verificar que el nivel del cloro líquido en el depósito está por debajo de la parte inferior del sifón invertido de ventilación. Esta operación da también salida a los gases no condensables. Verificar que la presión en el depósito es razonable con respecto a la temperatura del cloro.

*Conductor*

18. Con una máscara de gas puesta, desconecta la tubería de descarga del líquido de la cisterna, sustituye el obturador y regresa al lugar de estacionamiento. Indica al *encargado de la instalación* que se puede cerrar la ventilación. Las tuberías cortas de conexión de las válvulas del líquido y del aire se pueden desconectar y la cúpula de la cisterna se ajusta con firmeza.

*Cliente*

19. *En ninguna circunstancia debe dejar ninguna sección de la tubería sin ventilación mientras haya cloro líquido entre las válvulas cerradas.*

*Conductor*

20. Antes de dejar la planta de almacenamiento, pedir a la persona responsable designada que firme la notificación y la declaración de expedición debajo de las palabras «todas las operaciones relacionadas con la descarga del camión cisterna se han completado de manera satisfactoria». Entregar una copia a la persona responsable. Al salir de la fábrica, volver a pesar el camión cisterna en la báscula puente.

## Apéndice 5. Resumen: tipos de vaporizador (véanse los párrafos 170 a 172)

Los vaporizadores del cloro pueden dividirse en cuatro categorías básicas:

1. Haz de tubos verticales
2. Serpentín inmerso en un baño caliente
3. Tubo concéntrico
4. Evaporador de tipo caldera

### Haz de tubos verticales (Tipo 1)

Las *ventajas* de este tipo de sistema son las siguientes:

*a)* pequeño tamaño global, superficies de transferencia de calor relativamente grandes;

*b)* mantenimiento fácil;

*c)* para el modo de funcionamiento en que el cloro está en tubos, el cloro líquido es desplazado automáticamente por una superpresión cuando el suministro de vapor a la planta de consumo está cerrado.

Las *desventajas* de este tipo de sistemas son las siguientes:

*a)* para el modo de funcionamiento en que el cloro está en tubos, existe el peligro de inestabilidad, cuando la cantidad es elevada debido a la variación de los niveles del líquido y a la posibilidad de corrosión en la región de la superficie del líquido;

*b)* para el modo de funcionamiento en que el cloro está en la envuelta, resulta difícil secar ésta.

### Serpentín inmerso en un baño caliente (Tipo 2)

Las *ventajas* de este tipo de vaporizador son las siguientes:

*a)* es fácil de mantener y manejar;

*b)* el serpentín largo por lo general asegura un supercalentamiento adecuado;

*c)* no existen problemas con una expansión térmica diferencial;

*d)* el sistema de gasto tipo pistón evita la concentración de impurezas de temperatura de ebullición alta;

*e)* el secado del equipo antes de su uso es relativamente fácil;

*f)* el cloro líquido se desplaza de forma automática cuando el suministro de vapor a la planta de consumo se cierra.

Las *desventajas* de este tipo de vaporizador son las siguientes:

*a)* baja producción;

*b)* se puede producir fácilmente la corrosión externa del tubo, en especial cerca de la superficie del líquido;

*c)* se puede producir una erosión interna e irregular del serpentín;

*d)* la inspección y limpieza internas del serpentín son difíciles.

### Unidades de tubos concéntricos (Tipo 3)

Las *ventajas* de este tipo de sistema son las siguientes:

*a)* construcción sencilla con unas necesidades mínimas de soldadura;

*b)* facilidad de mantenimiento y manejo;

*c)* facilidad de prever un sobrespesor para tener en cuenta la corrosión;

*d)* desplazamiento automático del cloro líquido cuando el suministro de vapor a la planta de consumo se cierra;

*e)* el sistema de gasto tipo pistón por encima de un gasto mínimo seguro evita la concentración de impurezas a altas temperaturas de ebullición.

Las *desventajas* de este tipo de sistema son:

*a)* inestabilidad potencial del procedimiento en un nivel de producción alto y bajo;

*b)* limitación de la capacidad de la instalación debido a una superficie de transferencia térmica relativamente pequeña;

*c)* mayores dificultades para obtener un recalentamiento adecuado del cloro.

**Evaporador de tipo caldera (Tipo 4)**

Las *ventajas* de este tipo de sistema son las siguientes:

*a)* puede diseñarse para una gran capacidad de producción;

*b)* se puede prever fácilmente una tolerancia para la expansión térmica;

*c)* el funcionamiento es estable, con la condición de que se controle el nivel de cloro en la caldera o la presión del cloro que alimenta el vaporizador.

Las *desventajas* de este tipo de sistema son las siguientes:

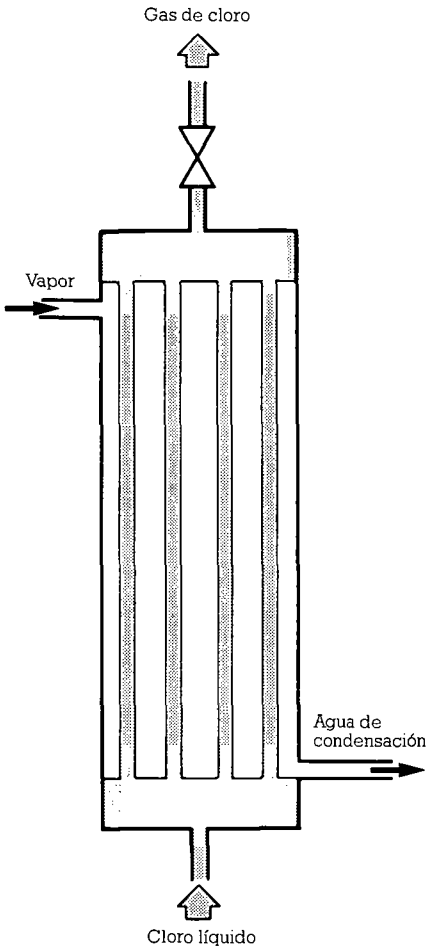
*a)* como el recipiente contiene una cantidad relativamente grande de cloro líquido, si se produce un escape o se crea una presión excesiva en el recipiente aumentará el peligro potencial;

*b)* se necesita un sistema de desahogo con una gran capacidad, a menos que el vaporizador esté diseñado para las presiones elevadas;

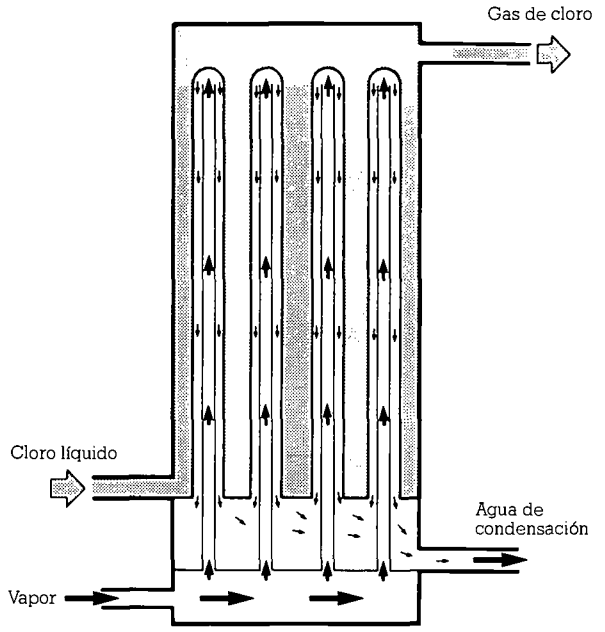
*c)* el funcionamiento puede dar origen a concentraciones de tricloruro de nitrógeno; el proceso de purga requerido para reducir este peligro puede ser difícil de llevar a cabo en los locales del consumidor;

*d)* el secado del equipo del lado del cloro es difícil;

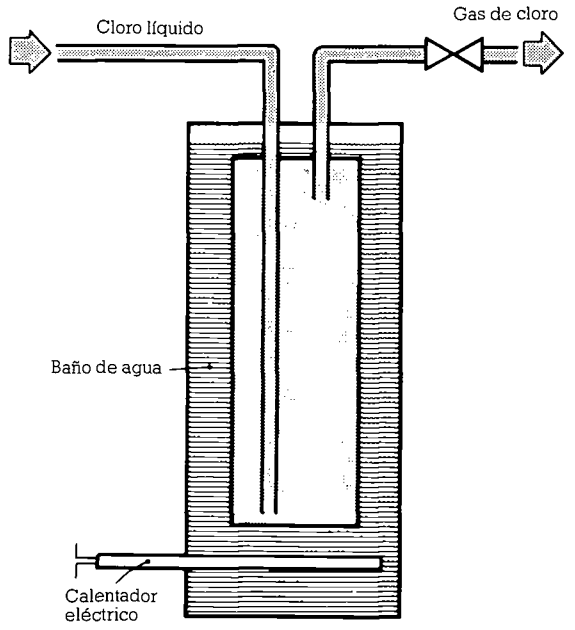
*e)* el desmantelamiento de los tubos resulta difícil y requiere un gran espacio.



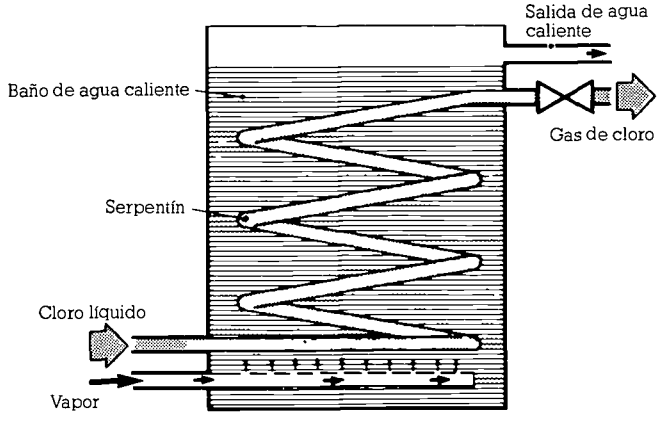

**Tipo 1a.** Envuelta y tubo



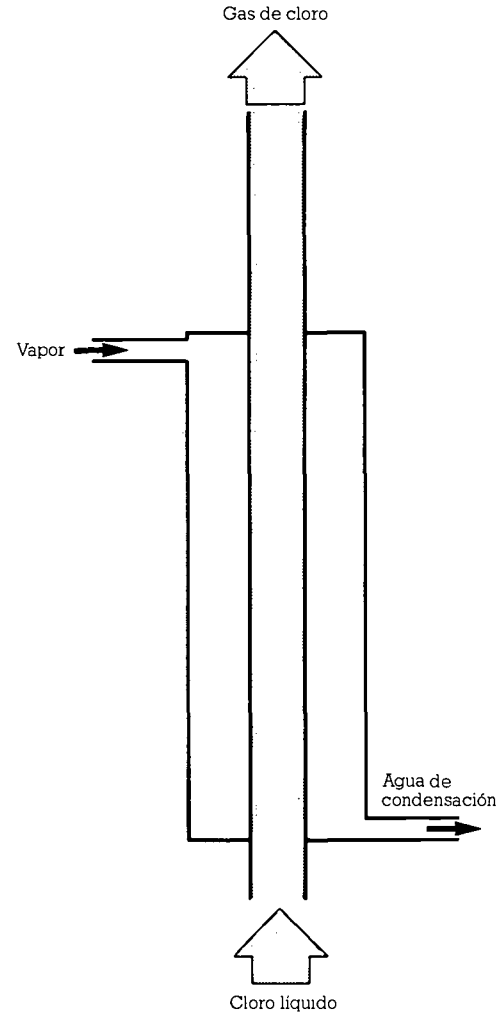

**Tipo 1b.** Bayoneta de vapor



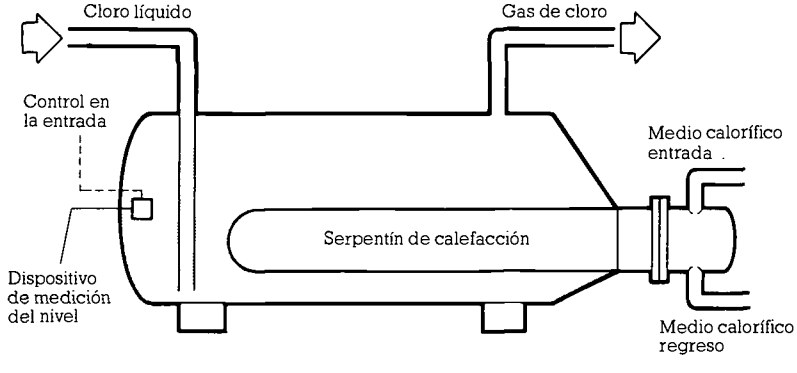

**Tipo 1c.** Baño de agua caliente




**Tipo 2.** Serpentín inmerso en un baño caliente




**Tipo 3.** Instalación de tubo concéntrico




**Tipo 4.** Evaporador de tipo caldera

**Apéndice 5 c)**

# Almacenamiento de amoníaco anhidro bajo presión en el Reino Unido

(Reproducido del folleto de Health and Safety Executive: *Storage of anhydrous ammonia under pressure in the United Kingdom,* Health and Safety series booklet HS(G) 30 (Londres, HMSO, 1986).)

# Indice

**Prefacio**

**Información general**

Alcance
Seguridad
Riesgos para la salud

**Recipientes esféricos**

Emplazamiento
Diseño del depósito esférico
Cimientos
Muros de protección
Equipo auxiliar
Aislamiento
Instalaciones de seguridad en el emplazamiento
Capacitación y seguridad de los empleados
Entrada en servicio, funcionamiento y cierre definitivo
Inspección y mantenimiento
Plan de emergencia

**Depósitos cilíndricos**

Introducción
Propiedades físicas del amoníaco y riesgos que entraña para la salud
Emplazamiento
Diseño del depósito
Cimientos
Muros de protección
Equipo auxiliar
Aislamiento
Instalaciones de seguridad del emplazamiento
Capacitación y seguridad de los empleados
Puesta en servicio y cierre definitivo
Inspección y mantenimiento

**Bibliografía**

**Referencias**

## Prefacio

La Asociación de Industrias Químicas publicó en 1980 un código de prácticas relativo al almacenamiento de amoníaco anhidro bajo presión en el Reino Unido. El código abarcaba el almacenamiento en recipientes esféricos y cilíndricos. Desde esa época ha habido un constante progreso de los conocimientos teóricos en la industria, en particular con respecto a las medidas requeridas para evitar el agrietamiento debido a corrosión por tensiones en los recipientes esféricos. Por ese motivo, se ha decidido actualizar la parte 1 del código de la Asociación de 1980 para incorporar estos conocimientos perfeccionados. Se ha aprovechado también la oportunidad para actualizar la parte 2.

Esta guía fue preparada por la Junta Ejecutiva de Seguridad e Higiene (HSE), el grupo de productos del amoníaco de la Asociación de Industrias Químicas y el ICI PLC. Se basa en la ampliación y el perfeccionamiento del código de la Asociación de Industrias Químicas de 1980, al que actualmente sustituye. No está destinada a constituir un código de diseño.

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a las personas que han contribuido a esta labor.

## Información general

### Alcance

1. La presente guía abarca los requisitos básicos relativos al diseño de recipientes de presión esféricos y cilíndricos y a los accesorios esenciales para el funcionamiento seguro, así como a ciertas cuestiones relacionadas con el manejo.

Se formulan recomendaciones con respecto al emplazamiento, la protección, la capacitación, los dispositivos de seguridad, la inspección y los procedimientos de emergencia.

### Seguridad

2. Además de cumplir las normas de seguridad relativas a la construcción y el funcionamiento de una instalación de almacenamiento de amoníaco, se debe prestar suma atención a los dispositivos generales de seguridad en el emplazamiento. (Véase el párrafo 88.)

3. El amoníaco anhidro (deshidratado) es un gas a temperaturas y presiones normales. La expresión «amoníaco anhidro» se utiliza aquí para referirse al amoníaco en forma gaseosa o licuada; no se debe confundir con «amoníaco acuoso», que es una solución de amoníaco en agua. A lo largo del presente documento se hace referencia al amoníaco anhidro simplemente como amoníaco.

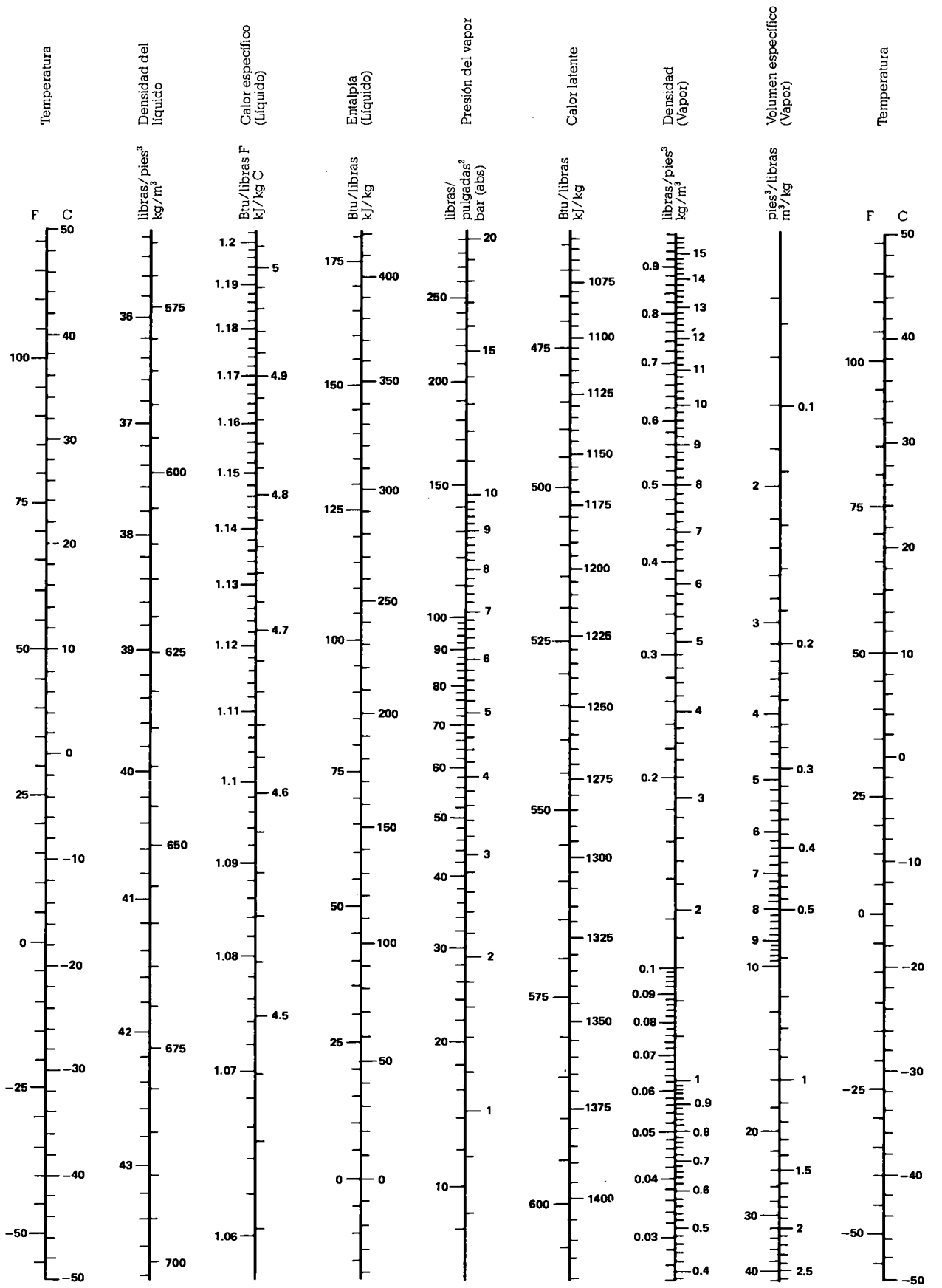
4. El amoníaco puede licuarse reduciendo su temperatura a 33 °C o moderando el aumento de su presión. Estas propiedades permiten que se pueda almacenar como líquido en diversos tipos de contenedor. En la actualidad se utilizan tres métodos de almacenamiento, y la elección depende principalmente de la cantidad que se ha de almacenar.

a) *Almacenamiento a temperatura ambiente y a presión equivalente en recipientes cilíndricos.* Este método se utiliza cuando se trata de cantidades relativamente pequeñas, dado que consideraciones prácticas relacionadas con la fabricación y el transporte limitan el tamaño del recipiente.

b) *Almacenamiento bajo presión en recipientes esféricos.* En el emplazamiento es posible construir recipientes esféricos para contener varios miles de toneladas de amoníaco. Sin embargo, las esferas muy grandes son poco comunes y la mayor parte de los recipientes contienen de 500 a 3000 toneladas. Se puede utilizar equipo de refrigeración para disminuir la temperatura del amoníaco y en esos casos el recipiente funciona a una temperatura inferior a la de los recipientes de temperatura ambiente; este tipo de almacenamiento se designa a menudo como de «semipresión» o «semirrefrigeración».

c) *Almacenamiento a la presión atmosférica.* El amoníaco puede almacenarse a la presión atmosférica reduciendo la temperatura a −33 °C. En este estado se puede acumular en tanques cilíndricos de fondo plano, dado que la presión que el tanque debe soportar es sólo la impuesta por la parte superior del líquido. En la práctica, se mantiene una ligera presión positiva para simplificar el funcionamiento del sistema de refrigeración. Este método de almacenamiento se considera en general económico cuando las cantidades superan las 5000 toneladas. Se han construido muchos depósitos de 20000 a 35000 toneladas y algunos que superan esa cifra.

5. El amoníaco almacenado a presión tiene una considerable energía potencial y si se produjera una ruptura del contenedor principal, el líquido se transformaría de modo inmediato en un vapor, puesto que el estado termo-




**Nomógrafo para mostrar algunas propiedades del amoníaco**

dinámico del amoníaco se ajusta a la presión reducida. Dado que esta evaporación adiabática de expansión brusca se produce casi instantáneamente en todo el líquido, la mayor parte del contenido de un recipiente a presión roto penetrará en la atmósfera como un vapor o como un fino aerosol líquido. Por este motivo, el diseño del contenedor pricipal debe ser tal que prácticamente elimine la posibilidad de una deficiencia importante; esta gufa se ha redactado partiendo de esa premisa. El diseño del equipo para almacenar y manipular sustancias como el amoníaco bajo presión se conoce bien y la posibilidad de un gran escape es muy remota. No obstante, cuando el amoníaco está combinado con ciertos otros materiales, la posibilidad de una corrosión por tensiones que produzca grietas plantea problemas particulares.

6. Como el amoníaco es una sustancia química peligrosa en forma líquida y en forma gaseosa, incluso en pequeñas cantidades, la seguridad es una consideración de almacenamiento.

7. Toda persona relacionada con el almacenamiento de amoníaco debe saber lo siguiente:

*a)* A temperaturas normales y a la presión atmosférica, el amoníaco anhidro es un gas, pero puede almacenarse en forma líquida bajo presión. La presión dependerá de la temperatura de almacenamiento. Por ejemplo, a una temperatura ambiente de 20 °C, la presión manométrica será aproximadamente de 7,5 bar; a una temperatura de almacenamiento semirrefrigerado típica de 0 °C, la presión manométrica será aproximadamente de 3 bar. El amoníaco puede asimismo almacenarse a la presión atmosférica en forma líquida mediante la reducción de la temperatura a su punto de ebullición atmosférica de -33 °C.

*b)* El gas de amoníaco es irritante e incoloro y actúa como su propio agente de prevención. Normalmente es más ligero que el aire y en el aire libre se dispersa por su propia fuerza ascensional. El gas producido a partir del líquido puede mezclarse con el aire, sin embargo, para producir mezclas más pesadas que el aire que permanecerán cerca del suelo.

*c)* El amoníaco no ataca con facilidad a los aceros al carbono, pero reacciona fuertemente con el cobre y con sus aleaciones. La reacción se acelera en presencia del agua, incluso en cantidades mínimas. Sólo las aleaciones de acero y de metales no ferrosos que han demostrado ser adecuadas para el amoníaco pueden utilizarse para los accesorios y el equipo auxiliar o adyacente. El empleo del cobre y de las aleaciones que contienen cobre en cualquier equipo de otra planta situada cerca de la instalación de almacenamiento de amoníaco debe examinarse meticulosamente.

*d)* El amoníaco se combina con el mercurio para formar compuestos explosivos, por lo que no se deben utilizar instrumentos que contengan mercurio si el amoníaco puede entrar en contacto con éste.

*e)* Los límites inflamables del amoníaco van del 16 al 25 por ciento del volumen en el aire con una temperatura de ignición de 651 °C. La ignición de esas mezclas es difícil, pero si ocurre en un espacio limitado puede producirse una explosión. El peligro de que esto suceda es reducido y, en consecuencia, no se considera que las instalaciones de amoníaco presenten un riesgo grave de incendio.

8. El amoníaco es extremamente soluble en agua y en algunos disolventes orgánicos, liberándose calor durante la solución. Las constantes físicas principales son las siguientes:

| | |
|---|---|
| Punto de ebullición atmosférica | -33,35 °C |
| Punto de congelación | -77,70 °C |
| Temperatura crítica | 132,40 °C |
| Presión barométrica absoluta crítica | 114,25 |
| Calor latente (1 atmósfera, menos 33 °C) | 1370,76kj/kg |
| Densidad del líquido. Véase el apéndice 1 | |
| Presión del vapor. Véase el apéndice 1 | |
| Densidad del vapor. Véase el apéndice 1 | |
| Límites inflamables | |
| (porcentaje de volumen en el aire) | 16 a 25% |
| Temperatura de autoignición | 651 °C |

**Riesgos para la salud**

9. En concentraciones reducidas en el aire, el vapor de amoníaco irrita los ojos, la nariz y la garganta. La inhalación de altas concentraciones produce una sensación de sofocamiento, causa rápidamente quemaduras de las vías respiratorias y puede ser mortal. El amoníaco líquido causa graves quemaduras en contacto con la piel. La exposición a altas concentraciones de gas o a contacto directo con el líquido puede causar grandes daños. En el cuadro 1 figura un resumen de los síntomas y de los períodos de exposición en relación con concentraciones de vapor de amoníaco específicas.

**Cuadro 1. Riesgos para la salud**

| *Concentración de vapor (ppm v/v)* | *Efecto general* | *Período de exposición* |
|---|---|---|
| 5 | Olor detectable para la mayoría de las personas. | |
| 25 | | Límite de exposición recomendado – en un período largo – 8 horas TWA. |
| 35 | | Límite de exposición recomendado – Período corto 10 minutos TWA. |
| 50 | Irritación apenas detectable por la mayoría de las personas, pero no persistente. | |
| 70 | Ningún efecto prolongado para el trabajador medio. | Exposición máxima para períodos largos no permitida. |
| 400–700 | Irritacíon inmediata de la nariz y la garganta. | La exposición durante ½ a 1 hora no produce efectos graves. |
| 1700 | Fuerte tos, molestias agudas del ojo, irritación de la nariz y la garganta. | Puede ser mortal después de ½ de hora. |
| 2000–5000 | Fuerte tos, molestias agudas del ojo, irritación de la nariz y la garganta. | Puede ser mortal después de ¼ de hora. |
| 5000–10 000 | Espasmo respiratorio. Asfixia rápida. | Mortal en unos pocos minutos. |

10. Conviene conocer los requisitos de la ley sobre seguridad e higiene en el trabajo, etc., de 1974 y el reglamento conexo, particularmente con referencia a los párafos 89 a 97 de la presente guía*.

11. Se recomienda aplicar la presente guía en todas las instalaciones nuevas diseñadas después del 1.° de enero de 1987 y en todas las demás instalaciones en la medida en que sea razonablemente factible, aunque se reconoce que las instalaciones existentes pueden no cumplir todas las recomendaciones. Cualquier modificación necesaria dependerá de las circunstancias particulares, y habrá que adoptar una decisión responsable con respecto a la naturaleza y oportunidad de los cambios que se han de efectuar en el equipo o en los procedimientos. Se deben examinar los nuevos avances que se puedan haber producido desde que se preparó la presente guía.

## Recipientes esféricos

### Emplazamiento

12. Los depósitios esféricos deben estar emplazados lo más lejos posible de zonas residenciales, edificios públicos, carreteras, ferrocarriles y aeropuertos, teniendo debidamente en cuenta la dirección del viento imperante.

13. Para la elección del emplazamiento se deben tener presentes los planes existentes de urbanización futura de la zona.

14. En muchos casos el emplazamiento de los depósitos esféricos requerirá un permiso para la planificación, con el fin de que las autoridades tengan que consultar a la Junta Ejecutiva de Seguridad e Higiene (HSE) acerca de los aspectos de seguridad del emplazamiento en relación con la población de las zonas circundantes. El asesoramiento de la Junta tendrá en cuenta los detalles de la instalación y la magnitud de la población circundante. Es probable que esa Junta dé un dictamen a favor de una propuesta de colocar un depósito esférico a una distancia de unos pocos cientos de metros de terrenos utilizados cuando exista la probabilidad de concentraciones importantes de alojamientos. En consecuencia, se recomienda que los fabricantes consulten a la HSE lo antes posible.

15. Se debe tomar en consideración la proximidad de carreteras y ferrocarriles con un tráfico rápido. Se deben montar barreras antichoques, cuando sea necesario, para evitar el peligro de daños si se produjera una coli-

* Health and Safety at Work Act, 1974. HMSO.

sión de vehículos. En cualquier caso, los depósitos esféricos no deben estar emplazados a menos de 25 metros de una carretera transitada o de una vía férrea.

16. Es imposible impedir el riesgo de los aviones que se estrellan contra el suelo, pero se debe advertir que la mayor parte de estos accidentes se producen en el momento del despegue o del aterrizaje. En consecuencia, los depósitos esféricos no deben estar emplazados cerca de los aeropuertos.

17. Se debe tener en cuenta la existencia o propuesta de creación de plantas o instalaciones que contengan materiales inflamables y explosivos. Los recipientes de amoníaco deben estar emplazados de manera que la radiación de un incendio o los detritos de una explosión que afecte a esa planta o instalación no causen daños al depósito esférico.

18. La zona de almacenamiento debe estar ubicada de tal manera que los vehículos puedan llegar a ella por carretera desde dos direcciones.

## Diseño del depósito esférico

*Especificaciones del diseño*

19. Como requisito mínimo, el depósito esférico debe ser diseñado, fabricado, montado, inspeccionado y puesto a prueba de conformidad, como mínimo, con una norma equivalente a BS 5500*, en lo que respecta a un depósito de la categoría 1, teniéndose debidamente en cuenta el apéndice D de esa norma, incluida la inspección del 100 por ciento de las partículas magnéticas de todas las soldaduras internas y cualquier requisito adicional indicado en esta parte del presente folleto.

*Condiciones del diseño*

20. El depósito esférico debe diseñarse de manera que soporte las tensiones impuestas cuando se llena hasta el límite máximo permitido y una presión superimpuesta igual a la presión del vapor de amoníaco a la temperatura máxima prevista junto con cualquier otra presión adicional que pueda derivarse de la presencia de gases inertes, y las cargas externas, etc., en general tal como se definen en el apéndice A de la norma BS 5500*.

21. La temperatura mínima prevista debe ser la más baja que el depósito esférico puede alcanzar mientras está en servicio. De preferencia, esta temperatura debe fijarse en -33 °C, pero en ningún caso ha de pasar de los -10 °C.

22. Se debe proceder a mitigar todas las tensiones térmicas en los nuevos depósitos esféricos después de su construcción y en los depósitos existentes que con anterioridad no han sido utilizados para contener amoníaco. Este procedimiento debe tener debidamente en cuenta el estado actual de los conocimientos y velar por que no quede duda alguna con respecto a la mitigación de la tensión de depósitos esféricos completos muy grandes.

*Materiales de construcción*

23. Para reducir al mínimo el riesgo de corrosión por tensiones que produzcan grietas, los electrodos consumibles de soldeo deben superar las propiedades dúctiles de los ánodos en la cantidad más pequeña factible. Además, no debe permitirse que la resistencia a la tracción de las placas de ánodos exceda del máximo indicado en las especificaciones de éstas. El límite mínimo especificado aparente de fluencia del acero con el que se ha construido el depósito no debe exceder de 350 N/mm$^2$. Las placas individuales utilizadas en la construcción del depósito esférico deben identificarse durante la fabricación y puesta a prueba y marcarse en consecuencia.

24. La marcación con punzón del material de la placa no debe estar autorizada.

25. *No* se deben utilizar el cobre ni las aleaciones de cobre. (Véase el apartado *c)* del párrafo 7.)

*Soportes del depósito esférico*

26. La mayor parte de los depósitos esféricos existentes se apoyan en columnas, pero caben otros métodos, como los soportes de camón circunferenciales o parte de un recipiente de cemento esférico o «huevera». Los soportes deben estar diseñados para que aguanten el peso del depósito cuando esté lleno de agua. Los soportes tubulares huecos deben ser completamente herméticos frente al agua y el aire, que podrían provocar gradualmente la corrosión interna. Se debe poner particular cuidado en lograr que no quede agua en los soportes durante la construcción. La altura por encima del nivel del suelo elegida para el depósito esférico dependerá en parte de la facilidad de acceso requerida hasta los accesorios de la parte inferior y en parte del tipo de bomba que se utilice para descargar el amoníaco. El depósito esférico tendrá que ser suficientemente alto para proporcionar una carga de aspiración neta positiva y adecuada para

* BS 5500 *Specifications for unfired fusion welded pressure vessels.*

un funcionamiento satisfactorio de la bomba, aunque la altura puede reducirse colocando la bomba en una fosa.

*Acoplamientos del depósito esférico*

27. *Aberturas – Consideraciones generales.* Las aberturas deben adoptar la forma de toberas embridadas o tubos dotados de pasadores o cerrojos. Las soldaduras de las aberturas adyacentes no deben estar más cerradas que a 50 mm. Las conexiones atornilladas no deben utilizarse y tampoco deben utilizarse toberas menores de 50 NS.

28. Todas las toberas deben agruparse en las placas de la parte superior e inferior. Todas las toberas a que estén conectadas tuberías, incluidas las toberas de repuesto, deben disponer de válvulas de aislamiento montadas directamente sobre la tobera y de salidas de fondo, que deben tener dos de esas válvulas agrupadas más cerca.

29. *Aberturas de acceso.* Las aberturas de acceso deben estar situadas en la placa de la parte superior del depósito esférico. Se recomienda que las cubiertas de las aberturas de acceso sean basculantes o estén dotadas de pescantes para evitar la necesidad de aparejos de izar. El diámetro interior mínimo de cualquier abertura de acceso debe ser de 600 mm*.

30. *Válvulas de desahogo.* Se deben instalar por lo menos dos válvulas de desahogo de la presión que cumplan los requisitos de la norma BS 6759 Parte 3**. Si el depósito esférico no es capaz de soportar el vacío absoluto, se debe ajustar una válvula vacuorreguladora. Se pueden utilizar válvulas separadas de presión y regulación del vacío o, como alternativa, pueden ser de un tipo único de regulación de la presión y el vacío. Debe haber suficientes válvulas de desahogo para que se pueda retirar una válvula con fines de examen o mantenimiento sin que se reduzca la protección del depósito esférico. Se debe ajustar una válvula de aislamiento entre el depósito esférico y cada una de las válvulas de desahogo, y se debe incorporar un mecanismo de manera que sólo se pueda aislar una válvula en un momento dado.

31. Las válvulas de desahogo de la presión deben estar dotadas de tuberías de salida tendidas independientemente, de tal modo que la descarga no resulte peligrosa para una persona que se encuentra en la plataforma superior. La tubería situada por debajo de la válvula de desahogo debe estar diseñada de manera que se pueda suprimir una válvula de desahogo sin peligro. Las tuberías de salida deben estar diseñadas para que impidan la entrada de agua de lluvia y deben tener agujeros de drenaje.

32. El orificio de admisión a la válvula de desahogo debe estar diseñado o protegido para impedir el bloqueo del orificio de entrada por accesorios internos, por ejemplo los flotadores para medir el nivel, que pueden soltarse de forma accidental.

33. *Indicadores de nivel.* Se deben ajustar como mínimo dos dispositivos de indicación del nivel independientes, de los cuales uno al menos ha de tener una precisión dentro del límite de los 12 mm. Para ello, es aceptable el tipo de flotador con cinta (de preferencia si tiene un tubo de amortiguamiento) o un flotador teleguiado, colocado sobre un tubo de acero inoxidable que contenga un seguidor magnético. Es aceptable un indicador de reserva, dispositivo impulsado por la diferencia de presión de la parte superior hidrostática del líquido en el depósito esférico, pero se requiere sumo cuidado en el diseño y colocación para que el «pie del líquido» permanezca lleno todo el tiempo.

34. *Mecanismo de alarma del nivel superior.* Se debe ajustar un mecanismo de alarma del nivel superior separado, independientemente de cualquier indicador del nivel. Debe estar montado de manera que funcione a un nivel tal que permita contar con tiempo suficiente para la adopción de medidas eficaces.

35. *Orificio para el llenado.* Se recomienda que el orificio para el llenado esté dotado de un desviador interno a fin de garantizar, en la medida de lo posible, que el flujo de entrada no choque con el flotador para medir el nivel ni forme gotitas que pasen con la salida del vapor a la planta de refrigeración.

36. *Cilindros de masa.* Los depósitos esféricos deben estar dotados de dos cilindros de masa de conformidad con la figura 22 de la norma BS 4741***, con la excepción de que se debe utilizar acero austenítico en lugar de bronce para las clavijas y arandelas, y el conductor de cobre debe estar cubierto para impedir el contacto con el amoníaco. En los depósitos esféricos sostenidos por columnas, los cilindros deben estar emplazados sobre dos columnas lo más diametralmente opuestas que sea posible.

* Artículo 30 de la ley de fábricas de 1961 y disposición 7 del Reglamento sobre fábricas de productos químicos de 1922.

** BS 6759: Parte 3: *Specification for Safety Valves for Process Fluids.*

*** BS 4741: 1971. *Vertical cylindrical welded steel storage tanks for low temperature service – single wall tanks for temperatures down* to -50 °C. British Standards Institution.

37. *Otras toberas.* Se debe examinar la conveniencia de prever un número adecuado de toberas de repuesto para cubrir futuras necesidades.

38. *Válvulas en las toberas de salida.* Todas las bocas de salida del fondo deben estar dotadas de válvulas internas que se puedan accionar a distancia y que se cierren al interrumpirse la potencia de servicio o al producirse cualquier otra deficiencia en el sistema de funcionamiento. Como alternativa, se pueden utilizar válvulas externas accionadas a distancia, con la condición de que sean de acero inoxidable austenítico y estén atornilladas de modo directo a la tobera de salida.

39. Si existe una única boca de salida del fondo con una válvula interna, se debe examinar la conveniencia de prever un medio accionado manualmente para liberar una válvula agarrotada con el fin de restablecer el funcionamiento normal.

*Requisitos de construcción*

40. *Preparación y protección de las placas.* Antes de enviarlos al emplazamiento, todos los materiales deben prepararse de forma adecuada y quedar protegidos contra la corrosión.

41. *Procedimientos de soldeo - procedimiento y calificación del soldador.* Deben ser objeto de un acuerdo entre el comprador y el abastecedor, pero, como mínimo, deben satisfacer los requisitos de la norma BS 5500, apéndice E.

42. *Mitigación de la tensión de las placas con guarniciones soldadas.* Las placas de la parte superior e inferior deben estar relajadas de tensiones una vez terminadas todas las soldaduras de las toberas y conexiones, antes de enviarlas al emplazamiento. Las placas que tienen conexiones con las columnas u otros puntales de soporte y cualquier otra placa con una conexión soldada deben estar igualmente relajadas de tensión. Cuando se trata de conexiones con columnas, la parte termotratada debe incluir, como mínimo, una extensión del circuito fuera de cualquier revestimiento igual a su diámetro.

43. *Detalles del soldeo de la tobera.* Todas las soldaduras de las toberas de estructura laminal deben ser de penetración total conforme a la norma BS 5500. No se deben utilizar las figuras E.2 (3) a y b, (10) b y c, (11), (12), (20) b, (21), (22), (23) b, (24) e, f y g, (25) a, b y c. Para la soldadura, las bridas de collar de la figura E.2 (27) a son preferidas a las bridas locas.

44. *Accesorios provisionales.* Todos los accesorios provisionales deben retirarse con cuidado después de su uso, es decir, *no* deben ser sacados a golpes, y se deben eliminar las marcas dejadas por las herramientas y alisarse el suelo. Esas marcas se deben comprobar por medio de métodos de partículas magnéticas para la detección de grietas después de la rectificación. Esta labor se debe realizar antes de procedar a la mitigación de la tensión.

45. *Accesorios permanentes.* Se debe disponer de una plataforma central en la parte superior del depósito esférico, lo suficientemente grande para facilitar el acceso a todas las instalaciones de la parte superior. Se debe transportar sobre pedestales que estén soldados a la placa superior antes de que se proceda a mitigar la tensión; los accesorios deben tener soldaduras de penetración plena.

46. Las escalas de acceso no deben estar soldadas al depósito esférico.

47. *Escalas de acceso.* Se debe prever una escalerilla de acceso hasta la parte superior del depósito esférico y es preferible que esa escalerilla sea independiente del depósito. Como alternativa, la escala puede fijarse a las columnas de soporte del depósito esférico, pero ninguna parte de ella debe soldarse al cuerpo cilíndrico que contiene la presión. Cuando sea apropiado, se debe prever la posibilidad de una instalación diferencial entre el depósito esférico y las escalerillas.

48. La escalera debe tener descansillos cada dieciséis escalones y ser por lo menos de 750 mm de anchura, y estar dotada de barandillas y apoyos para los pies.

*Puesta a prueba y examen del depósito esférico*

49. La puesta a prueba del depósito esférico debe incluir su llenado con agua y las pruebas previstas en la cláusula 5.8.3 de BS 5500. Todos los depósitos esféricos deben ser examinados a fondo durante el período de construcción, de conformidad con los requisitos de las especificaciones de fabricación. Además:

*a)* el examen de detección al 100 por ciento de grietas con partículas magnéticas debe efectuarse en todas las soldaduras internas y en los lugares de donde se han retirado cepos de las conexiones oscilantes, los accesorios provisionales y las marcas dejadas por

herramientas antes de la puesta en servicio (véase la nota de pie de página al párrafo 125 en lo que respecta al método preferido). Esto proporcionará unos datos básicos para los exámenes posteriores;

*b)* se debe efectuar en la superficie externa del depósito esférico una inspección visual completa y un examen de detección de grietas por partículas magnéticas a lo largo de por lo menos el 10 por ciento de cada soldadura a tope;

*c)* ensayos ultasónicos: el espesor de las paredes del depósito cilíndrico y de las toberas se debe medir por medios ultrasónicos para detectar cualquier fallo de las soldaduras de las conexiones de la tobera con el cuerpo cilíndrico;

*d)* si se tiene la intención de utilizar en una etapa posterior pruebas a base de emisiones acústicas, debe establecerse una base de referencia durante las hidropruebas de los nuevos depósitos esféricos.

**Cimientos**

*Especificaciones del diseño*

50. Los cimientos de un depósito esférico de amoníaco y de la escalerilla deben diseñarse ajustándose totalmente a las buenas prácticas aceptadas y conformándose en general a los requisitos del código de prácticas respecto a los cimientos CP 2004:1972 de la BS. Los cimientos deben diseñarse de manera que soporten el peso del depósito esférico cuando esté lleno de agua.

*Asentamiento*

51. En el diseño se deben tener en cuenta las características y presiones admisibles de diversos tipos de suelo, y prestar particular atención a un asentamiento idóneo. Conviene velar por que la diferencia de asentamiento entre el depósito esférico vacío y el cargado sea lo suficientemente pequeña de modo que resulte aceptable para las conexiones de las tuberías, con el fin de que no se transmitan cargas importantes (particularmente cargas cíclicas) a las toberas del depósito esférico.

*Puesta a prueba*

52. Cuando el depósito esférico se está poniendo a prueba hidráulicamente, se recomienda con gran insistencia adoptar medidas de desviación en cuatro puntos durante las fases de llenado y vaciado para verificar si el asentamiento es aceptable.

**Muros de protección**

53. Se debe instalar un muro de protección, por lo menos de 1 metro de alto, situado fuera del radio del depósito esférico y de la estructura de soporte del depósito. La capacidad de la protección debe ser, como mínimo, equivalente al 20 por ciento de la capacidad del depósito esférico*.

54. La estructura de soporte del depósito esférico debe estar protegida contra la colisión de vehículos por barreras de bloqueo de una resistencia adecuada o por paredes de protección.

55. La parte inferior de la pared de protección debe ser de un material impermeable. Se debe prever la recolección de líquido en un pozo de desagüe bajo que descargue a través de una válvula de bridas que debe normalmente estar cerrada. El agua puede drenarse luego en la forma requerida y otros materiales eliminarse por medio de un sistema de bombeo provisional.

56. El acceso a equipo montado sobre el depósito esférico debe efectuarse normalmente desde fuera del muro de protección.

**Equipo auxiliar**

*Consideraciones generales*

57. Las recomendaciones detalladas con respecto al equipo de bombeo y refrigeración relacionado con una instalación de almacenamiento de amoníaco quedan fuera del alcance de la presente guía. Las técnicas utilizadas están bien establecidas, y muchos fabricantes acreditados suministran equipo adecuado. Por tanto, en la presente sección sólo se considerarán los detalles de importancia particular.

*Recipientes de presión y termoconmutadores*

58. Los recipientes de presión y los termoconmutadores deben, como mínimo, satisfacer los requisitos de una norma que sea por lo menos equivalente a la norma británica pertinente, por ejemplo la BS 5500 o la BS 3274**.

* La posibilidad de retener el amoníaco líquido que se escapa de un depósito esférico en un muro de protección depende de la presión de almacenamiento y de las circunstancias del incidente. Si se produce un escape cuando el amoníaco se encuentra en un depósito esférico bajo presión, parte del contenido se escapará a la atmósfera, pero algo del líquido se podrá recoger sobre el suelo. El muro de protección debe estar situado de preferencia aproximadamente a un radio del depósito esférico fuera del ecuador de éste.

** BS 3274:1970 *Tubular heat exchanges for general purposes.* British Standards Institution.

En ambos casos los materiales deben ajustarse a lo dispuesto en el párrafo 2 de la BS 5500.

59. Todos los fondos abombados se deben suministrar en forma normalizada.

60. Los depósitos de presión y los termoconmutadores deben estar diseñados de manera que soporten la combinación más dura de presión y temperatura que pueda darse durante circunstancias normales o de emergencia, con respecto, cuando sea necesario, a los registros especiales del diseño para temperaturas inferiores a cero.

61. Ni en los depósitos ni en los accesorios debe utilizarse el cobre ni ninguna aleación a base de cobre.

62. Sólo se deben utilizar aceros que tengan los límites elásticos especificados mínimos de hasta 350 N/mm$^2$. Las soldaduras de los elementos fabricados, como las tuberías, que entran en contacto con el amoníaco líquido, deben estar sin tensión*. Los elementos en contacto con el gas de amoníaco deben estar relajados de tensión, si así se exige en las notas del cuadro 3, párrafo 2.

63. Los compresores pueden ser de pistón o giratorios, y ambos tipos pueden lubricarse o no**. Los compresores lubricados con aceite provocarán cierta contaminación del amoníaco, y el nivel que se puede tolerar influirá en la elección del compresor.

*Bombas*

64. El tipo más frecuentemente utilizado es la bomba centrífuga horizontal polietápica, dotada de un cierrre mecánico seguido de un prensaestopas convencional con obturación flexible.

65. Una bomba de rotor blindado sin prensaestopas es igualmente aceptable***.

66. La tubería de salida del líquido desde el depósito esférico hasta la bomba debe tener una pendiente uniforme, estar bien aislada y ser lo más corta posible, teniendo en cuenta los movimientos de los cimientos del depósito esférico y los movimientos causados por el ciclado térmico, sin provocar tensiones excesivas en la tubería.

67. Se debe disponer de un tubo de derivación para devolver parte del líquido extraído por la bomba al depósito esférico, con el fin de refrigerar la bomba, y la válvula de entrada debe estar cerrada mientras la bomba sigue funcionando. La placa perforada o la válvula que controla el reflujo debe estar lo más cerca posible del depósito esférico, y la tubería de retorno debe descargar en el espacio del vapor del depósito esférico****.

68. Se debe ajustar un dispositivo para indicar la pérdida de flujo a través de la bomba debido a un tapón de vapor o a cualquier otra causa. Esto puede ocasionar una diferencia de presión o un movimiento lento del flujo.

69. Los materiales de construcción deben ser adecuados para temperaturas inferiores a cero (véase el párra-

* Algunos aceros, pero no austénicos, son propensos a la corrosión por tensión que produce grietas en presencia de amoníaco líquido adsorbido oxígeno. Cuando el gas de amoníaco se retira del depósito esférico y se vuelve a licuar, es inevitable que se concentren productos no condensables (entre ellos el oxígeno) en el líquido de la tubería y los depósitos de la planta refrigerada. Como la atenuación de la tensión térmica inhibe el proceso de agrietamiento debido a la corrosión por tensiones, a estos elementos se les aplica un procedimiento de distensión.

** En los compresores giratorios se suele utilizar aceite por razones de estanquidad y refrigeración, y no primordialmente para lubricación.

*** Las bombas sólo funcionarán de manera satisfactoria, en particular cuando el nivel del líquido del depósito esférico es bajo, si se dispone de una carga de aspiración neta positiva adecuada. El requisito de la carga de aspiración neta positiva de la bomba elegida debe verificarse en la etapa de diseño y el depósito esférico debe estar alzado lo suficiente por encima del suelo para proporcionar la distancia vertical necesaria a fin de que el depósito esférico pueda vaciarse completamente. Conviene señalar que unas tuberías de aspiración largas reducen con eficacia la carga de aspiración neta positiva. Un aislamiento inadecuado y/o unos medios insuficientes de ventilación de las tuberías de aspiración provocan la formación de vapor y pueden ocasionar la obstrucción por vapores del líquido de la bomba. Si, por algún motivo, no se puede prever una distancia vertical suficiente con respecto a una bomba montada a nivel del suelo, se puede conseguir una distancia vertical eficaz adicional ya sea colocando la bomba en una fosa, ya sea utilizando una bomba hermética vertical en un agujero taladrado. En este último caso, la bomba debe estar protegida contra cualquier posible daño debido a un levantamiento por congelación del terreno. (Frost Heaves and Storage Vessel Fondation. Manual Técnico CEP - Safety in ammonia plants and related facilities, volumen 12.)
La ventaja de una bomba de rotor blindado sin prensaestopas reside en su completa hermeticidad y, por tanto, no origina condiciones de trabajo desagradables debidas a pequeños escapes del prensaestopas, como suele suceder con las bombas con prensaestopas convencionales. Este tipo de bomba es, por consiguiente, particularmente adecuado cuando hay hombres que trabajan de manera permanente en la zona, por ejemplo las estaciones de carga de camiones y ferrocarriles.

**** Cuando se utilice un orificio para reducir el flujo, se producirá una evaporación instantánea por debajo del orificio. Esto provocará una corriente bifásica, que puede causar vibraciones en la tubería y provocar luego roturas por fatiga. Por consiguiente, es preferible colocar el orificio cerca del depósito esférico para que el amoníaco se mantenga en la fase líquida en la tubería.

fo 80). No se deben utilizar en ninguna parte de la bomba el cobre o aleaciones que contengan cobre desnudo (véase el párrafo 7, *c)*).

*Diseño de las tuberías*

70. *a)* Las tuberías deben diseñarse de conformidad con la norma BS 3351* o ANSI B 31.3** y cualquier requisito adicional de esta sección de la presente guía.

*b)* Las tuberías, las válvulas y demás accesorios deben estar diseñados para soportar la combinación más dura previsible de presión y temperatura.

*c)* Cualquier aumento de la resistencia del metal que se produzca a temperaturas inferiores a 0 °C debe ignorarse al determinar los valores de la carga de trabajo.

*d)* Las tuberías deben estar correctamente alineadas para evitar la imposición de tensiones sobre el empernado, pero esto no tiene por objeto prevenir la aplicación del ajuste previo inicial correcto y destinado a reducir las tensiones debidas a la contracción térmica. No se debe pretender que las especificaciones del diseño prevean variaciones de corta duración de las condiciones de funcionamiento normales.

*e)* El «campo de tensiones admisibles», definido en las especificaciones del diseño y utilizado para análisis térmico, debe calcularse al 50 por ciento del permitido por las especificaciones.

*f)* El número de junturas debe reducirse a un mínimo. Las junturas soldadas son preferibles. Las junturas embridadas sólo se deben utilizar cuando se conectan a equipo embridado (por ejemplo, válvulas, bombas, etc.).

*g)* Se recomiendan obturadores bobinados en espiral; los obturadores de fibra de amianto comprimido o de aluminio se pueden utilizar, pero sólo con junturas de tipo machihembrado.

*h)* El amoníaco líquido tiene un coeficiente de expansión térmica elevado y, por tanto, se debe prever algún medio de ventilación segura en las tuberías en que el líquido puede quedar atrapado entre válvulas, etc.

*i)* Como el amoníaco líquido acumulado en la tubería puede estar en su punto de ebullición o cerca de él, la posibilidad y el efecto de que se produzca un flujo bifásico deben tenerse en cuenta en la etapa de diseño.

*j)* Se debe evitar que en el diseño se prevea un exceso de dimensiones que produzca un aumento del espesor, porque el peligro de fractura por fragilidad se intensifica con el espesor.

*k)* Las soldaduras deben ser de penetración completa a lo largo de toda la juntura y atenerse a las limitaciones de deficiencias de la BS 2633: 1973***.

*l)* Las pruebas de los procedimientos de soldadura y de las calificaciones de los soldadores deben incluir pruebas de resiliencia de la zona de soldadura y de la zona afectada por el calor en sus requisitos y éstos deben atenerse a la última edición de las especificaciones del diseño.

*m)* Todas las tuberías deben estar termoestabilizadas (véase la nota de pie de página del párrafo 63).

*Materiales de construcción de las tuberías*

71. *a)* Los materiales utilizados para las tuberías y los accesorios deben ser resistentes a la fractura por fragilidad a las temperaturas inferiores a cero que se produzcan (véase el párrafo 80).

*b)* Las válvulas deben ser normalmente embridadas y estar fabricadas de acero al carbono normalizado como parte del proceso de fabricación. Si se utilizan válvulas soldadas por dentro, deben fabricarse de acero al carbono a prueba de choques.

*c)* Ni en las válvulas ni en las tuberías debe utilizarse cobre ni aleaciones de cobre (véase el párrafo 7, c)).

*d)* Deben elegirse electrodos para soldar que presten servicio a bajas temperaturas. Para reducir al mínimo el riesgo de que se produzcan grietas debidas a corrosión por tensiones, la soldadura de los fusibles debe superar las propiedades ténsiles de las tuberías en la mínima magnitud factible.

* BS 3351: 1971 *Piping systems for petroleum refineries and petrochemical plants.* British Standard Institution.

** ANSI B 31.3 *Code for pressure piping - Chemical plant and petroleum refinery piping.* American National Standard 1976.

*** BS 2633: 1973 *Class 1 Arc welding of ferritic steel pipework for carrying fluids.* British Standards Institution.

*Fabricación y montaje de las tuberías*

72. *a)* En general, deben utilizarse accesorios de soldadura a tope por forja para las curvaturas, los tubos en forma de T, los manguitos reductores y los capacetes.

*b)* Los accesorios soldados son de cabeza hueca y las conexiones deben limitarse a 40 NS.

*c)* Se deben utilizar accesorios enroscados únicamente cuando no existe ninguna otra posibilidad y limitarse a pequeñas conexiones patentadas internas, por ejemplo los manómetros.

*d)* Si es necesario formar un canal en la tubería, son preferibles largas curvaturas de unión forjadas.

*e)* No se deben utilizar tubos acodados cónicos, codos poligonales de plegado alternativo ni bifurcaciones montadas a temperaturas inferiores a cero.

*f)* Las bifurcaciones montadas deben tener soldaduras de penetración completa.

*g)* Las curvaturas forjadas y cualquier accesorio fabricado deben ser de soldadura termoestabilizada.

*h)* Todas las soldaduras de los empalmes se deben radiografiar con el fin de detectar cualquier grieta de los soldeos en ángulo.

*Puesta a prueba de las tuberías*

73. La presión de la red de tubos se debería poner a prueba antes de la entrada en servicio. El método preferible es la prueba hidráulica seguida del secado, pero en casos en que ésta no es posible se puede utilizar una prueba neumática utilizando aire o nitrógeno, con la condición de que se adopten precauciones contra los peligros inherentes a este método de prueba*.

*Equipo eléctrico*

74. Se debe prestar atención a las propiedades del amoníaco y, en particular, al párrafo 7, *e)*.

75. Los edificios como las instalaciones que albergan los compresores, en los que el equipo eléctrico podría estar sometido a un escape de amoníaco, deberían disponer de ventilación directa a la atmósfera a través de la masa. En la norma BS 4434: Parte 1, párrafo 14.3**, se da orientación sobre las medidas relativas a la ventilación.

76. El equipo eléctrico de esos edificios debe clasificarse como zona 2 de la norma BS 4683: Parte 3*** o estar dotado de cortacircuitos controlados por dispositivos detectores, tal como se describe en la BS 4434: Parte 1, párrafo 13.2.1.2.

77. Se deben emplear sólo motores que no tengan partes de cobre expuestas.

78. Los aparatos de conexión deben estar, siempre que sea posible, alojados en edificios cerrados, secos y calurosos, para excluir el vapor de amoníaco.

79. El amoníaco no debe transportarse por tubería a las salas de control ni a las salas de distribución.

*Materiales de construcción (para accesorios)*

80. Los materiales de construcción deben ajustarse a la última edición de las especificaciones de diseño pertinentes y recomendadas, teniendo debidamente en cuenta las temperaturas inferiores a cero, cuando son aplicables.

81. Los aceros austénicos no son propensos a la fractura por fragilidad a bajas temperaturas.

**Aislamiento**

*Consideraciones generales*

82. La necesidad de aislamiento dependerá de las condiciones en que tenga que funcionar el recipiente. Con frecuencia, la temperatura funcional es tal que se produciría un aumento calorífico de la atmósfera y luego, a menos que el vapor se pueda utilizar en un proceso, es necesario reducir al mínimo el aumento calorífico mediante el aislamiento o aumentar la capacidad de la planta de refrigeración. Si se aplica el aislamiento, se deben seguir las recomendaciones indicadas en la norma BS 5970****, así como las disposiciones adicionales señaladas en la presente guía.

*Materiales*

83. *Materiales aislantes.* En la medida de lo posible todos los materiales aislantes deben ser altamente ignífugos, por ejemplo, vidrio celular, isocianurato expandido o poliuretano pirorretardante. Deben elegirse materiales

* Nota de orientación de la HSE GS4 *Safety in pressure testing* HMSO.

** BS 4434: 1969 Parte 1 *Requirements for refrigeration safety.* British Standards Institution.

*** BS 4683: 1972 Parte 3 *Electrical apparatus for explosive atmospheres.* British Standards Institution.

**** BS 5970: 1981 *Code of Practice for thermal insulation of pipework and equipment in the temperature range -100 °C to +870 °C.*

de acabado con propiedades ignífugas, teniendo presente su resistencia a los efectos de corrosión atmosférica y ambiental.

84. *Estanquidad a vapores.* Se debe señalar la importancia de un medio para evitar la condensación del vapor*.

85. *Revestimiento.* Si se utiliza un revestimiento metálico, se deben emplear remaches que puedan apretarse sin necesidad de entibar y que sean electrolíticamente compatibles con el material de revestimiento.

86. *Aislamiento de protección.* El aislamiento puede requerir anillos de soporte metálicos, que deben diseñarse de manera que puedan fijarse a la envuelta de las placas de la parte superior y a las placas que transportan los soportes de los circuitos derivados únicamente. Cualquier abrazadera necesaria para colocar y fijar los anillos debe estar soldada a la placa apropiada de conformidad con los requisitos de la norma BS 5500. Esta operación la debe realizar el fabricante antes de proceder a la termoestabilización de las placas. No se debe permitir que el contratista del aislamiento suelde accesorios a los canales de las placas ni antes ni después de la fabricación en ninguna circunstancia. No está autorizada la fijación de pernos por medio de soldadura por explosión.

87. *Aislamiento de las columnas.* Cuando un depósito esférico está sostenido por columnas, éstas deben aislarse a una distancia suficiente para reducir el aumento calorífico en esas zonas.

**Instalaciones de seguridad en el emplazamiento**

88. Además del equipo auxiliar y de los accesorios de seguridad, se deben tener en cuenta la características que se indican a continuación para garantizar un funcionamiento seguro de la instalación de almacenamiento.

*a)* La zona del depósito esférico y su equipo conexo debe estar claramente marcada para indicar el riesgo potencial de accidente y para prohibir la entrada de una persona no autorizada. La forma de demarcación variará de un emplazamiento a otro; un simple aviso puede bastar en algunas plantas, mientras que en otras puede ser necesario vallar el emplazamiento que se quiera aislar.

*b)* Cuando el acceso está obstaculizado, por una valla por ejemplo, se deben instalar dos verjas colocadas en diagonal una enfrente de otra con el fin de que en caso de emergencia los vehículos puedan entrar en el emplazamiento en la dirección del viento. Se deben disponer salidas de emergencia en cada esquina de la zona reservada para almacenamiento. Por razones de seguridad, esas salidas se deben diseñar de manera que obstaculicen el acceso de personas no autorizadas.

*c)* Se deben colocar bocas de riego en torno a la zona, a unos 25 metros del propio depósito esférico, con el fin de que el acceso a una fuente de agua sea siempre posible, con independencia de la dirección del viento. Las cortinas de agua son eficaces para reducir la dispersión de una nube de amoníaco. Al instalar esa cortina, se debe poner cuidado para que el agua no entre en contacto con una acumulación de amoníaco líquido, dado que esto podría causar un gran aumento en la evolución del amoníaco gaseoso. Además, se debe disponer de agua en todo el emplazamiento para hacer frente a pequeños derrames y escapes.

*d)* La zona de almacenamiento debe estar bien iluminada por la noche.

*e)* Se deben colocar una o más mangas cónicas usadas como veleta en un lugar elevado con el fin de que el personal de la zona las pueda ver con facilidad.

*f)* Se debe instalar un grupo electrógeno de socorro o una chimenea para combustión de gases sobrantes cuando no se pueda tolerar una caída de tensión en los compresores de refrigeración (que provocaría una descarga de amoníaco de las válvulas de desahogo).

*g)* Se deben prever barreras contra choques adecuadas para proteger a los tramos vulnerables de las tuberías y otro equipo que contenga amoníaco contra las colisiones de vehículos, etc. (véase también el párrafo 15).

*h)* Cada salida, y cualquier otro lugar en que se considere necesario, debe estar dotada de botones eléctricos de emergencia. Esos botones deben dar la alarma y cerrar la planta para dejarla en un estado seguro. Cuando proceda, se debe incorporar la alarma en el sistema de alarma de la fábrica o del público existente.

*i)* Las lecturas de los instrumentos esenciales de las que depende la seguridad deben estar sometidas a una constante vigilancia, de ser necesario por teledetección. Como mínimo, deben incluir la presión en

* BS 5970: 1981 *Code of Practice for thermal insulation of pipework and equipment in the temperature range -100 °C to +870 °C.*

el espacio atmosférico del depósito esférico y el nivel del líquido*.

*j)* Se deben prever instalaciones para rociar de agua al personal con el fin de que cualquiera que pueda ser rociado con amoníaco líquido tenga acceso inmediato a una fuente de agua adecuada. Estas instalaciones deben estar situadas de preferencia en por lo menos dos lugares y, de ser posible, cerca de los puntos donde las conexiones y desconexiones son frecuentes.

*k)* Debe haber un número adecuado de extintores de incendios de tipo vapor $CO_2$ o BCF en puntos estratégicos de la zona.

*l)* Se debe tener a mano el equipo de seguridad siguiente:

i) Equipo de protección respiratorio adecuado con fines de socorro para todo el personal que entra en la zona de almacenamiento;
ii) Dos conjuntos de aparatos de respiración de más larga duración con fines de socorro;
iii) Dos conjuntos completos de ropa protectora con fines de socorro y para casos de emergencia;
iv) Guantes y botas de plástico o de caucho;
v) Gafas protectoras;
vi) Botiquines para primeros auxilios;
vii) Varias botellas de colirio, situadas en diversos puntos de la zona.

## Capacitación y seguridad de los empleados

89. Aunque el amoníaco es una sustancia química peligrosa, un personal competente y plenamente capacitado puede manejarlo con seguridad utilizando el equipo y los procedimientos correctos.

* *Presión.* En condiciones de funcionamiento normales, la presión en el depósito líquido pondrá en marcha y detendrá en forma automática los compresores de refrigeración. Si el mecanismo de puesta en marchalparada deja de funcionar, la presión en el depósito esférico puede llegar a ser excesivamente alta o baja. Las últimas salvaguardias son las válvulas de desahogo de la presión, pero, antes de poner en marcha esas válvulas, se debe comunicar el aviso que corresponda al ayudante acerca del mal funcionamiento para que adopte las medidas correctivas que se impongan. Los valores de la presión se deben transmitir a un registrador situado en una sala de control con personal presente, y el registrador debe estar dotado de alarmas audibles de alta y baja presión.

*Nivel del líquido.* Las indicaciones de los niveles del líquido y del depósito esférico deben transmitirse a una sala de control asistida por personal. Como los niveles cambian lentamente, sólo se requiere la indicación del nivel. Además, el depósito esférico debe estar dotado de un dispositivo independiente para indicar el alto nivel que dé una alarma audible en la sala de control, cuando se la active (véase también el párrafo 34).

*Capacitación*

90. Además de la instrucción normal sobre el proceso, todos los empleados responsables del funcionamiento de la planta deben recibir formación en los siguientes aspectos:

*a)* Las propiedades de amoníaco y el comportamiento del gas licuado.

*b)* Las consecuencias de un manejo inadecuado del equipo y los riesgos que puede provocar un escape del amoníaco líquido o gaseoso.

*c)* Las medidas que se han de adoptar de producirse un derrame de amoníaco.

*d)* El uso correcto de todos los tipos de equipo protector, extintores de incendios y aparatos de respiración.

*Seguridad de los empleados*

91. La dirección debe verificar con regularidad que se adopten de manera permanente prácticas de trabajo seguras.

92. Todos los empleados deben participar con regularidad en ensayos relativos a las medidas que se han de adoptar en caso de producirse una emergencia.

93. Debe haber por lo menos un programa anual de repaso para los empleados, relativo al uso correcto de los extintores de incendios, aparatos de respiración y equipo protector.

94. Las duchas de aspersión, las botellas de colirios y el equipo protector se deben inspeccionar con regularidad para asegurarse de que siguen estando disponibles y en buen estado. Se deben adoptar precauciones para impedir la congelación.

95. Todos los empleados y demás personas que entren en la zona de almacenamiento deben tener a mano un equipo respiratorio de protección adecuado.

96. En la zona de almacenamiento debe estar prohibido fumar y se deben colocar avisos en este sentido en diversos puntos estratégicos.

97. Se debe llevar puesto un equipo protector adecuado para el trabajo concreto que se está realizando.

## Entrada en servicio, funcionamiento y cierre definitivo

98. En la presente sección se recomiendan los procedimientos que se han de adoptar para poner en servicio el

depósito esférico de amoníaco y para dejarlo fuera de servicio durante la inspección. No se trata de los procedimientos de puesta en servicio de la planta de refrigeración y otras plantas auxiliares, que quedan fuera del alcance de la presente guía. Durante la entrada en servicio, la tarea más importante consiste en eliminar impurezas que, si se dejan, podrían más tarde promover grietas debidas a corrosión por tensiones en el depósito esférico. Se cree que el oxígeno que se disuelve en el amoníaco líquido es el principal factor causante de ese agrietamiento; por tanto, se debe poner cuidado en purgar la mayor cantidad de aire que sea posible del depósito esférico antes de añadirle amoníaco líquido.

99. Aunque el agrietamiento debido a corrosión por tensiones puede prevenirse mediante una termoestabilización bien controlada del depósito esférico antes de su primer uso con amoníaco, se recomienda mantener un bajo contenido de oxígeno, como salvaguardia adicional y para reducir el peligro de que se produzcan agrietamientos debidos a corrosión por tensiones en otras partes.

100. Se indican dos métodos de purgar el aire del depósito esférico, cada uno de los cuales tiene por objeto reducir el contenido medio de oxígeno del gas en el depósito esférico a menos de 0,025 por ciento v/v antes de la introducción del amoníaco líquido. Esta concentración de oxígeno en el gas del depósito esférico garantiza que la concentración de oxígeno en el amoníaco líquido durante y después del llenado no excederá de 2,5 ppm en peso, lo que se considera es el límite superior seguro cuando el contenido de agua es de unas 100 ppm*. Para combinar la eliminación máxima de oxígeno con la pérdida mínima de amoníaco en la atmósfera, el aire se debe desplazar por agua seguida de nitrógeno o por nitrógeno solo.

* Para reducir al mínimo la posibilidad de agrietamiento debido a corrosión por tensiones, conviene eliminar todas las trazas de oxígeno del sistema con la mayor rapidez posible después de la entrada en servicio del depósito esférico. Aunque no se dispone de datos totalmente fiables sobre los niveles máximos de oxígeno por debajo de los cuales no se producirán agrietamientos, se considera que el nivel del oxígeno no debe exceder de 2,5 ppm en peso cuando el contenido del agua es de sólo 100 ppm. A título de orientación, cada 1 por ciento de oxígeno dejado en el depósito esférico después de la purga del nitrógeno dará origen a cerca de 1 ppm en el amoníaco líquido con la condición de que la purga posterior del amoníaco se efectúe cuidadosamente, como se describe en el párrafo 100. La situación puede mejorarse aun más llenando el depósito esférico con la mayor rapidez posible después de la entrada en servicio y prestando particular atención a la purga de no condensables del sistema. Luego se debe poner el máximo empeño en lograr que el contenido de oxígeno se mantenga lo más bajo posible.

101. Todos los métodos descritos con respecto a la puesta en servicio y el cierre definitivo entrañan el paso de amoníaco gaseoso a la atmósfera. Si es probable que este procedimiento origine problemas ambientales, el gas de salida debe ser absorbido en agua utilizando un depurador adecuado, que no permitirá que el agua sea absorbida otra vez por el depósito esférico, en especial durante la puesta en servicio.

*Puesta en servicio*

102. *Período anterior a la puesta en servicio.* Antes de la puesta en servicio, se deben efectuar las actividades y verificaciones siguientes:

*a)* que el depósito esférico esté limpio y seco;

*b)* que todo el equipo de refrigeración esté en estado de funcionamiento;

*c)* que el sistema de instrumentos y las alarmas funcionen;

*d)* que los flotadores se desplacen libremente y estén transmitiendo correctamente las indicaciones;

*e)* que las válvulas de desahogo estén correctamente instaladas y se hayan ajustado a la presión requerida; y

*f)* que las tapas de registro estén ajustadas y se hayan hecho todas las conexiones con las tuberías.

103. *Busca de escapes y eliminación del oxígeno.* El depósito esférico está ahora listo para que se busquen eventuales escapes y se efectúen purgas para eliminar el oxígeno. De los diversos procedimientos de purga posibles es preferible el desplazamiento con agua y/o nitrógeno.

*a)* *El método del desplazamiento con agua y nitrógeno.* El depósito esférico se llena de agua limpia lo más posible, siempre que las consideraciones de ingeniería y diseño civil lo permitan y con la condición de que la capa remanente de agua y cualquier sólido disuelto se pueda tolerar en el amoníaco. El agua se desplaza a continuación con gas de nitrógeno que se introduce por la parte superior del depósito esférico. Esto suele producir un nivel del oxígeno inferior al 2 por ciento. Si no se logra, se puede recurrir a ciclos de presurización y despresurización para reducir el contenido de oxígeno a un nivel aceptable. En esa etapa se deben efectuar verificaciones para detectar posibles escapes. Algunas veces se utiliza una variante de este método

cuando es probable que el aire quede atrapado en derivaciones y en los registros de la parte superior. El agua se llena por la parte superior y su nivel se reduce luego en unos dos pies aproximadamente desplazándola con gas de nitrógeno. El gas en este espacio se presuriza y despresuriza hasta que el contenido de oxígeno se reduce a un nivel aceptable. El agua restante se desplaza a continuación con gas de nitrógeno. Cualquier cantidad de nitrógeno liberado se puede utilizar para limpiar el equipo auxiliar. Se debe mantener una presión positiva en todo momento para impedir la penetración de aire.

*b) El método del desplazamiento sólo con nitrógeno**:
El depósito esférico se presuriza con gas de nitrógeno hasta alcanzar su presión de servicio y se hace una verificación para detectar si hay escapes. Luego se despresuriza lentamente; una buena práctica consiste en utilizar el nitrógeno liberado para depurar el equipo auxiliar. Los ciclos de presurización y despresurización del nitrógeno se repiten hasta que el contenido de oxígeno del gas se reduce a 2 por ciento o menos.

104. *Purga con gas de amoníaco.* Una vez que la concentración de oxígeno en el depósito esférico es inferior al 2 por ciento, se puede admitir gas de amoníaco para completar la purga**.

105. El gas de amoníaco se admite por la parte superior del depósito esférico y el gas efluente que se toma de su base se canaliza a un nivel elevado. El gas se introduce al inicio lentamente para llegar a un «gasto tipo» en el depósito esférico. De esta forma se establece una nube estable de vapor de amoníaco en unos pocos pies de la parte superior del depósito esférico con una mezcla mínima en la superficie de contacto amoníaco/nitrógeno. El ritmo de afluencia del gas de amoníaco puede luego aumentar. Una vez que se ha iniciado la purga, no se debe interrumpir; de lo contrario se producirán mezclas indeseables.

106. Cuando se detectan trazas de amoníaco en el gas de salida, la concentración se eleva rápidamente. La purga se puede detener cerrando la válvula de salida cuando se consigue una concentración de salida de por lo menos el 90 por ciento***.

107. El amoníaco se puede emplear para purgar el equipo auxiliar. Se utiliza amoníaco gaseoso para acumular presión en el depósito esférico antes de admitir el amoníaco líquido para evitar el enfriamiento local del depósito esférico.

*Funcionamiento*

108. Aunque el amoníaco anhidro puro no se considera en sí un medio capaz de causar agrietamientos debidos a la corrosión por tensiones del acero al carbono, la contaminación del amoníaco con oxígeno parece favorecer la aparición de grietas de corrosión por tensiones.

109. En algunos contenedores de amoníaco se han producido en grado considerable grietas de corrosión por tensión. Los aceros muy resistentes son más susceptibles al agrietamiento que los menos resistentes, y la impureza que favorece el agrietamiento se ha identificado como el oxígeno. El amoníaco tal como se produce no contiene oxígeno, pero es evidente que la contaminación puede producirse cuando se ha transferido del fabricante al usuario.

110. Se deben seguir las siguientes directrices:

*a)* se debe poner el máximo empeño en mantener el contenido de oxígeno del amoníaco lo más bajo posible;

*b)* se debe examinar seriamente la conveniencia de elevar el contenido de agua del amoníaco a 0,2 por ciento, dado que la presencia de agua con esta concentración o por encima de ella parece proporcionar protección en la fase líquida. El agua que se añade debe ser destilada o una cantidad equivalente de agua de condensación;

*c)* el contenido de oxígeno del amoníaco líquido debe verificarse por lo menos una vez al mes. Si se efectúa un control cuidadoso, el contenido de oxígeno no debe exceder de 2,5 ppm. Si se obtiene un valor

* Para los depósitos esféricos de muy baja presión, el método del nitrógeno no es un medio factible de purificación. En esos casos es apropiado el método de desplazamiento con agua y nitrógeno esbozado en el párrafo 103, *a)*, o el procedimiento utilizado en los tanques atmosféricos (véanse *Code of Practice for the Large Scale Storage of Fully Refrigerated Anhydrous Ammonia in the United Kingdom.* Asociación de las Industrias Químicas, mayo de 1985).

** Hace falta un suministro de gas de amoníaco para purgar el nitrógeno del depósito esférico durante la puesta en servicio. La fuente del gas dependerá de la instalación. Se debe prever cerca de una tonelada de gas por cada 1000 metros cúbicos de volumen del depósito esférico.

*** Hace falta una concentración elevada de amoníaco porque, de lo contrario, se producirá un recalentamiento de los compresores debido a un exceso de gases no condensables. Conviene llegar a un porcentaje no inferior al 90 por ciento de amoníaco.

considerablemente mayor, será necesario efectuar mediciones adicionales para determinar si se debe a la dificultad muy real de excluir el oxígeno extraño del analizador o a un abandono de las buenas prácticas de manejo que será preciso poner al descubierto y corregir. Con una exclusión cuidadosa del oxígeno extraño de la muestra y del analizador, se puede utilizar la cromatografía del gas para determinar esos bajos niveles de oxígeno.

*Cierre definitivo*

111. Esta sección se ocupa de los procedimientos seguros para extraer el amoníaco líquido y gaseoso del depósito esférico de almacenamiento con el fin de que se pueda entrar en él para examinarlo.

112. Retírese la mayor cantidad de amoníaco líquido posible utilizando las bombas normales de producto. En el depósito esférico puede quedar cierta cantidad de líquido remanente. Cualquier líquido remanente deberá eliminarse por medio de la transferencia diferencial de presiones a un recipiente adyacente, o a un camión o vagón cisterna. Conviene sacar todo el líquido del depósito esférico antes de reducir la presión a la atmosférica o de lo contrario habrá más vapor del necesario y, lo que es más importante, la temperatura de por lo menos una parte del depósito esférico se reducirá a 33 °C. Algunas esferas no están diseñadas para esta temperatura.

113. Se debe reducir la presión del depósito esférico al mínimo posible, siempre que sea compatible con el funcionamiento seguro del compresor de refrigeración.

114. Conviene aislar el compresor y reducir la presión manométrica del dep'osito esférico a cero, mediante el control de la salida a la atmósfera.

115. Introdúzcase aire por el punto más bajo (por ejemplo, la tobera del fondo más grande de que se disponga) del depósito esférico, dando salida desde el punto más alto del depósito esférico a la atmósfera. El aire debe introducirse con lentitud para mantener una buena interfase amoníaco/aire. Como el gas de amoníaco es mucho menos denso que el aire, el desplazamiento del amoníaco se efectuará de forma natural debido al efecto chimenea. Una vez que se ha detenido la corriente natural, se pueden utilizar los ventiladores del extractor para aumentar la corriente del aire como se indica en el párrafo 116. Durante la purga habrá una estrecha franja de gas mixto en la superfcie de contacto amoníaco/aire, que se encuentra en el campo de inflamabilidad. En general, se considera que el peligro de ignición es reducido. Sin embargo, si se decide que incluso un pequeño riesgo es inaceptable, la purga de nitrógeno puede preceder a la purga de aire. La purga de amoníaco/aire no se efectuará si hay amenaza de tormentas.

116. Es preciso abrir las toberas del fondo más grandes de que se dispone, desconectar el suministro de nitrógeno, si se utiliza éste, ajustar unos ventiladores del extractor adecuados a las toberas en la parte superior del depósito esférico y sacar aire a través del depósito esférico hasta que la atmósfera esté lo suficientemente desprovista de gases para penetrar, de conformidad con los requisitos del Reglamento sobre las fábricas de productos químicos, regla 7.

117. Se debe señalar que este método de cierre definitivo evita totalmente el uso de agua, pero es probable que sea lento, según el contenido de amoníaco atmosférico en el punto de ventilación. La situación en el depósito esférico puede ser también desagradable. Un lavado químico puede seguir siendo necesario para limpiar el interior del depósito esférico antes de que se pueda entrar en él sin protección. Aunque la eliminación del agua amoniacal es posible, un método alternativo consiste en introducir agua para absorber el amoníaco residual una vez que la presión se ha reducido a la atmosférica. Se debe poner cuidado en velar por que se introduzca un gas de purga suficiente (aire o nitrógeno) para prevenir la creación de un vacío.

**Inspección y mantenimiento**

*Consideraciones generales*

118. El primer examen a fondo en el servicio lo debe efectuar una persona competente después de un plazo no superior a los dos años de la entrada en servicio, seguido de exámenes completos periódicos con intervalos determinados por la persona competente. A reserva de que del examen se obtengan resultados satisfactorios, los intervalos pueden alargarse gradualmente en no más de dos años hasta un máximo de no más de seis años. Si se detectan grietas de corrosión por tensiones importantes, ello se debe interpretar en el sentido de que los resultados del examen no fueron satisfactorios.

119. Los exámenes posteriores pueden no requerir de manera forzosa una prueba hidráulica, a menos que se hayan efectuado reparaciones que afecten a la integridad del recipiente.

*Parte interior*

120. Los depósitos esféricos existentes que no han estado sometidos a una inspección al 100 por ciento por partículas metálicas de las soldaduras internas deben examinarse de ese modo en el examen completo siguiente.

121. Los depósitos esféricos de amoníaco que han de volver a estar en servicio después de haber dejado de estarlo por un período, por razón distinta de la realización de un examen o reparación, deben volver a obtener un certificado de una persona competente en el sentido de que están en condiciones de seguir utilizándose para contener amoníaco. El alcance de cualquier examen necesario debe ser determinado por la persona competente teniendo debidamente en cuenta la historia del recipiente, el uso anterior y los exámenes anteriores. Después de no más de dos años se debe efectuar un examen completo en el servicio y es preciso determinar exámenes posteriores para los nuevos recipientes (véase el párrafo 118).

122. Los depósitos esféricos existentes que se han de transferir al servicio del amoníaco deben estar totalmente atenuados de tensión antes de que se pueda obtener un certificado, extendido por una persona competente, de su idoneidad para ser utilizados con amoníaco. El alcance de cualquier examen necesario debe ser determinado por la persona competente, pero ha de incluir la detección de grietas de todas las soldaduras internas al 100 por ciento con partículas magnéticas y en el lugar de las clavijas articuladas, los accesorios provisionales y las trazas eliminados. Se debe efectuar un examen completo en el servicio después de no más de dos años de uso y los exámenes posteriores se deben determinar como para los nuevos recipientes (véase el párrafo 118).

123. El examen a que se refieren los párrafos 118 y 122 debe incluir los requisitos indicados en los párrafos 124 a 139.

*Parte interior*

124. El examen debe consistir en una inspección visual y en una detección de grietas internas por partículas magnéticas de las juntas longitudinales soldadas de conformidad con la norma británica 6072 como requisito mínimo*. Las técnicas y la densidad del flujo deben resultar aceptables para la persona competente.

125. Se debe aplicar un campo magnético inducido por medio de serpentines electromagnéticos (no puntas de contacto de circuito abierto ni diodos rectificadores) para producir una densidad de flujo de fuerza suficiente que revele la presencia de grietas importantes**.

126. El alcance del examen de detección de grietas por partículas magnéticas debe incluir el 100 por ciento de todas las soldaduras internas y todas las zonas de grietas. Si se encuentran defectos importantes, la inspección siguiente debe efectuarse en un plazo de dos años e incluir de nuevo el 100 por ciento de la inspección por partículas magnéticas de las soldaduras y zonas de grietas. Con la condición de que no se encuentren defectos graves, las inspecciones subsiguientes deben incluir por lo menos:

*a)* todas las junturas en T de las placas de la mitad inferior del depósito esférico;

*b)* el 25 por ciento de las grietas circunferenciales de las virolas del fondo y segunda, y

*c)* la placa de la tapa superior, las soldaduras en T de las virolas primera y segunda, más el 25 por ciento de las costuras soldadas circunferenciales de las junturas.

*Inspección ultrasónica*

127. El espesor del muro del cuerpo esférico y de las toberas debe medirse ultrasónicamente para proceder a la detección ultrasónica de las fallas de las soldaduras del cuerpo esférico a la tobera (véase el párrafo 50).

128. Cuando este examen sea factible, debe efectuarse desde la superficie interior.

*Pruebas de emisión acústica*

129. Las pruebas de emisión acústica se pueden utilizar para contribuir a determinar la integridad del depósito esférico.

*Parte exterior*

130. Se debe efectuar una única evaluación de la superficie externa. De existir un depósito esférico no aislado, el examen debe consistir en una inspección visual completa y un examen de detección de grietas por partículas

* BS 6072: *Method for magnetic particle flow detection.* British Standards Institution.

** Se debe poner cuidado en utilizar una técnica suficientemente sensible para revelar grietas muy finas. La técnica empleada debe tener una sensibilidad no inferior a la proporcionada por la culata magnética de corriente alterna. El uso de tintas fluorescentes puede mejorar la definición.

magnéticas a lo largo de por lo menos el 10 por ciento de cada soldadura a tope. En el caso de un depósito esférico aislado, se pueden utilizar pruebas de detección ultrasónica de fallas desde la parte interior del depósito esférico de por lo menos el 10 por ciento de cada soldadura a tope externa, en lugar del examen de la parte exterior. Si se descubre algún defecto importante, el alcance del examen se debe ampliar a discreción de la persona competente.

131. Además, en cada examen posterior en que se detecten defectos internos importantes se debe utilizar la prueba ultrasónica desde dentro del depósito esférico para verificar la integridad de la superficie exterior opuesta a la zona interna donde está el defecto, antes de efectuar la evaluación a que se hace referencia en el párrafo 142.

132. Cuando el espesor de los muros de las toberas del cuerpo esférico no se puede medir ultrasónicamente desde el interior, habrá que suprimir el revestimiento de las toberas en el lugar y exponerlas para que se examinen.

133. Conviene inspeccionar la estructura del soporte exterior para detectar cualquier deterioro del revestimiento protector y cualquier desgaste del metal resultante. Se debería tratar de detectar por partículas magnéticas si existen grietas en las soldaduras de conexión, y conviene verificar los agujeros de los tubos de aireación (si existe alguno).

134. Se deben inspeccionar todas las tuberías del depósito esférico a su primer aislamiento con miras de protección y seguridad. Es preciso eliminar el revestimiento de las soldaduras a tope de estas tuberías, radiografiarlas al 100 por ciento y examinarlas para detectar cualquier eventual corrosión exterior.

135. Todas las válvulas en línea, como las de aislamiento, las de control remoto y control del exceso del flujo, deben retirarse e inspeccionarse.

136. Todos los instrumentos y alarmas se deben revisar y volver a calibrar.

137. Las válvulas de desahogo deben inspeccionarse y ponerse a prueba por lo menos una vez cada dos años, y el aislamiento de cierre se debe verificar cabalmente hasta donde lo permite su construcción.

138. Se debe examinar el aislamiento externo para verificar si ha habido daños o fallas en las propiedades de aislamiento. La envuelta de cuyo aislamiento se duda debe ponerse al descubierto para facilitar la inspección de la superficie del metal antes de reparar el aislamiento, en particular si el depósito esférico está emplazado en un medio ambiente atmosférico agresivo.

139. Todas las clavijas de cierre y de montaje y los pasadores del depósito esférico deben sustituirse. Los obturadores embridados y los pasadores de las clavijas deben sustituirse en las tuberías situadas entre el depósito esférico y el primer aislamiento.

*Informe sobre el examen completo*

140. Cualquier deterioro importante que se descubra debe registrarse en el informe de examen dando detalles sobre las técnicas de inspección utilizadas. Debe volverse a determinar si el recipiente puede seguir siendo utilizado con amoníaco y se han de confirmar o revisar los límites de funcionamiento seguro. Cualquier defecto importante de la soldadura o de los materiales que se descubra debe examinarse de manera crítica con respecto a sus efectos sobre la integridad del recipiente, su origen y la probabilidad de que vuelva a producirse. Cuando las deficiencias son eliminadas o se procede a una nueva soldadura, el efecto sobre la presión de trabajo admisible debe analizarse de forma meticulosa. En el análisis de la tensión se deben considerar debidamente las tensiones remanentes y operacionales con unos factores de intensificación de la tensión apropiados cuando éstos se aplican. Si los defectos no se corrigen, su importancia se debe evaluar por medio de un análisis mecánico de las fracturas y mediante la supervisión adecuada cuando el depósito vuelve a ponerse en uso. Cuando se prevea la propagación de los defectos, se debe efectuar un análisis análogo para ayudar a determinar la fecha del próximo examen. Si se produce una supresión o adelgazamiento del metal, se debe prestar la debida consideración a los límites de la presión de trabajo admisibles tomando como base el espesor del metal remanente. Se debe extender un certificado en el que se especifique:

*a)* la presión máxima de trabajo admisible;

*b)* la presión mínima de trabajo admisible;

*c)* la temperatura máxima de trabajo admisible;

*d)* la temperatura mínima de trabajo admisible;

*e)* la cantidad máxima de amoníaco permisible;

*f)* el peso máximo del contenido admisible;

*g)* la fecha del próximo examen completo.

*Persona competente*

141. Una «persona competente» debe tener los conocimientos teóricos, la experiencia y los recursos necesarios para buscar, detectar y evaluar defectos particulares relacionados con los depósitos que contienen amoníaco, por ejemplo las grietas de corrosión por tensión. Debe tener acceso a instalaciones de laboratorio y para efectuar ensayos no destructivos apropiados, así como una capacidad técnica profesional suficiente para establecer una relación entre las conclusiones de la inspección y las evaluaciones de los parámetros de integridad del depósito para un trabajo seguro y su futuro uso.

*Inspección periódica*

142. Además del examen periódico completo, se deben efectuar con regularidad las siguientes verificaciones disciplinarias:

*a)* es preciso inspeccionar periódicamente todas las válvulas automáticas, alarmas y sistemas de desconexión para asegurarse de que funcionan de modo satisfactorio;

*b)* en el caso de los depósitos esféricos rodeados de un muro o pared de tierra, se debe prestar atención al drenaje del agua de superficie. En el buen cuidado y orden general de la zona se debe incluir su mantenimiento libre de escombros y malezas;

*c)* las bocas de riego se deben reparar y mantener con regularidad;

*d)* el aislamiento externo se debe mantener en buen orden;

*e)* se deben verificar diariamente los puntos donde se encuentra el equipo de seguridad personal y los accesorios (por ejemplo, los aparatos de respiración, las gafas, los guantes, las duchas, etc.) se deben mantener en estado de servicio;

*f)* los avisos con instrucciones, el número de identidad del depósito esférico y la nomenclatura de las válvulas se deben colocar en lugares visibles y mantenerse legibles día y noche;

*g)* la iluminación del emplazamiento debe mantenerse e inspeccionarse con regularidad (por ejemplo, conservándola limpia y en buen estado de servicio).

**Plan de emergencia**

143. Es esencial que se tome en consideración la posibilidad, por remota que sea, de un escape importante de amoníaco y que se elabore un plan de acción para hacer frente a esa emergencia. El plan debe cubrir todas las emergencias que pueden estar bajo el control de la fábrica, posiblemente con asistencia de la policía local y el servicio de bomberos. Habrá que consultar en todo caso a esas autoridades, y en los planes de trabajo se debe indicar de qué modo las actividades de la fábrica se han de integrar con las medidas adoptadas bajo la dirección general de la policía local, en caso de producirse un accidente grave que afecte a la zona circundante. Habrá que consultar también a la policía sobre la información que se debe facilitar a los ocupantes de los locales circundantes para instruirlos de modo adecuado sobre las medidas que se han de tomar en caso de accidente.

144. En los locales que están sometidos al Reglamento de 1984 sobre el control de los peligros de accidentes industriales importantes*:

*a)* el ocupante debe preparar un plan de emergencia en el lugar;

*b)* la autoridad local debe preparar un plan de emergencia para fuera del lugar;

*c)* se deben adoptar disposiciones para facilitar información al público que pueda ser afectado por un accidente importante en los locales.
En el folleto HS(R)21** de la HSE se dan otras orientaciones.

145. La policía local y los servicios de bomberos deben conocer el emplazamiento de la instalación y los medios de acceder a él. Se los debe informar de las consecuencias de un escape importante y conviene asesorarlos en cuanto al equipo de protección que deben llevar y acordar con ellos las medidas que adoptarán si participan en una situación de emergencia. En particular, los servicios de bomberos deben entender plenamente las medidas que se han de adoptar para luchar contra un escape de amoníaco.

146. Se debe establecer por escrito y distribuir un plan de trabajo que abarque los puntos siguientes:

*a)* las medidas inmediatas que ha de adoptar el personal de servicio, con inclusión del procedimiento que se ha de seguir para alertar a la fábrica y llamar a la policía local y a los servicios de bomberos, si fuera necesario;

* Norma 6 del Reglamento de 1984 sobre el control de los peligros de accidentes industriales importantes, HMSO.

** *A Guide to the Control of Industrial Major Accident Hazards Regulations 1984*, ISBN 011 883762.

*b)* la designación de una persona para que esté presente en el lugar del incidente y se encargue de coordinar las actividades del personal de la planta y de los servicios exteriores para hacer frente al escape;

*c)* la designación de un director de categoría superior como controlador de todo el incidente, con la función de velar por que se adopten todas las medidas posibles tanto en la fábrica como en el sector público, y por que se utilicen correctamente todos los vínculos de comunicación necesarios (a título de orientación, se debe establecer y poner a su disposición una lista de verificación por escrito);

*d)* la elección de emplazamientos adecuados desde los cuales controlar la emergencia (con este fin se debe disponer de dos emplazamientos situados en diferentes sectores de la dirección del viento), y

*e)* cuando una instalación de almacenamiento forme parte de una fábrica, se debe prever un sistema de alerta y un plan de acción con respecto a la parte restante del emplazamiento, dando a conocer a todos los empleados las medidas que se han de adoptar si se produjera un accidente que afectara a su zona particular de trabajo.

147. Conviene poner en práctica en diversas ocasiones el plan de trabajo, coordinándolo con la policía local y los servicios de bomberos.

148. En la nota de orientación de la HSE sobre la preparación de planes de emergencia* y en dos publicaciones de la Asociación de Industrias de Productos Químicos** se dan orientaciones detalladas sobre la preparación de planes de emergencia.

## Depósitos cilíndricos

### Introducción

149. Los depósitos para almacenar amoníaco líquido a plena presión suelen ser de forma cilíndrica con los extremos estampados y pueden instalarse con un eje vertical u horizontal. Sin embargo, es habitual montar estos depósitos en posición horizontal, en particular cuando el amoníaco se extrae por bombeo tradicional.

150. Los depósitos de ese tipo normalmente se construyen en el taller, y esto, a lo que se unen los reglamentos que imponen limitaciones a las dimensiones de las cargas transportadas por carretera, significa que existe un límite para la dimensión del depósito. Puede existir otra limitación a la dimensión en función de la capacidad para eliminar tensiones internas del horno de que dispone el fabricante.

151. En numerosos procesos industriales hacen falta pequeñas cantidades de amoníaco, y su almacenamiento a presión es la única forma de atender a este pequeño pero muy importante sector. La mayor parte de las entregas a esos usuarios se realizan por carretera.

152. Se recomienda en todos los casos que la cantidad de amoníaco almacenado a presión sea lo más pequeña que resulte razonablemente factible con una explotación comercial.

153. En la figura 2 se muestra un diagrama lineal simplificado, típico de una instalación de almacenamiento a presión.

154. Se remite al lector a la información general dada en esta guía, ya que será fácil saber cuándo es aplicable a un almacenamiento a temperatura ambiente en depósitos cilíndricos. Muchas de las recomendaciones relativas al almacenamiento sin peligro del amoníaco en depósitos esféricos son aplicables al almacenamiento en depósitos cilíndricos. En los casos en que las recomendaciones aplicables son idénticas o casi idénticas, se hace una referencia apropiada a la parte precedente de la presente guía.

### Propiedades físicas del amoníaco y riesgos que entraña para la salud

Véase la información general facilitada en los párrafos 1 a 11.

### Emplazamiento

155. A continuación se indican las normas mínimas recomendadas para el emplazamiento de los depósitos que reciben el producto almacenado de una cisterna. Estas indicaciones no sustituyen en modo alguno a otros requisitos que puedan imponer las autoridades locales o la HSE.

* HSE *The Control of Industrial Major Accident Hazards Regulations 1984 (CIMAH): Further Guidance on Emergency Plans* (HS(G)25), HMSO ISBN 0 11 883831 8.

** *Recommended Procedures for Handling Major Emergencies*, 2.ª edición, Asociación de Industrias de Productos Químicos, 1976. *Guidelines for Chemical Sites on off site aspects of Emergency Procedures*, Asociación de Industrias de Productos Químicos, 1985.

156. Las instalaciones para almacenar amoníaco deben estar emplazadas dentro de los límites definidos de una fábrica, siempre que sea posible lejos de zonas residenciales y de edificios públicos. Las distancias siguientes se deben considerar como mínimas:

| Capacidad | Distancia |
|---|---|
| Hasta 100 toneladas | 250 metros |
| Más de 100 toneladas | 500 metros |

157. Las instalaciones deben estar emplazadas de preferencia al aire libre, pero si están en un espacio cerrado, el edificio que contiene el depósito debe estar construido de manera que cualquier escape del depósito pase sólo al aire libre y no directamente a espacios de trabajo ocupados.

158. La zona de descarga debe estar al aire libre en un lugar cerrado a otros movimientos del tráfico mientras las cisternas están descargando. Los camiones cisternas no deben, en ninguna circunstancia, detenerse en una carretera pública mientras están descargando.

159. El emplazamiento debe elegirse de manera que se reduzca al mínimo el peligro de daños debidos a incendios o explosiones en la planta o en las zonas de almacenamiento circundantes y deben tomarse disposiciones para que el recipiente a presión y todo el equipo inmediatamente relacionado con él estén protegidos de posibles riesgos resultantes de cualquier accidente imprevisible.

160. Para la elección del emplazamiento se deben tener en cuenta los planes existentes relativos al futuro desarrollo de la zona.

**Diseño del depósito**

*Especificaciones del diseño*

161. El depósito se debe diseñar, fabricar, montar, inspeccionar y poner a prueba de conformidad con una norma por lo menos equivalente a la BS 5500, categoría 1, teniéndose debidamente en cuenta el apéndice D. Se deben radiografiar al 100 por ciento todas las soldaduras a tope y todas las demás soldaduras se deben someter a una inspección ultrasónica y/o de partículas magnéticas. Además, se recomienda que todas las soldaduras internas se sometan a una inspección con partículas magnéticas del 100 por ciento, con el fin de dejar un registro que pueda servir de punto de referencia para todas las inspecciones futuras del depósito. Una vez fabricado, el depósito debe ser termoestabilizado, después de lo cual no se debe efectuar ninguna nueva soldadura a menos que se cumplan los requisitos de las especificaciones del diseño relativos a la atenuación de tensiones locales.

*Condiciones del diseño*

162. *Presión del proyecto.* Cualquier depósito utilizado para almacenamiento a temperatura ambiente debe estar diseñado para soportar una presión barométrica absoluta no inferior a 15,5. Sin embargo, si un recipiente no está destinado de modo primordial a almacenamiento y forma parte de un proceso integrado, puede estar diseñado para una presión inferior con la condición de que esté adecuadamente protegido contra la sobrepresión.

163. *Temperatura del proyecto.* La temperatura mínima del proyecto debe ser la temperatura mínima que puede soportar el depósito en servicio. De preferencia, esta temperatura se debe considerar que es 33 °C, pero en ningún caso debe considerarse superior a 10 °C.

*Materiales de construcción*

164. a) *Materiales metálicos.* Los aceros utilizados deben limitarse, por lo menos, a los autorizados por la norma BS 5500, sección 2. Conviene remitirse también a los párrafos 23 a 25 de esta guía en lo que respecta a requisitos adicionales. Se pueden utilizar otros aceros que tengan las mismas limitaciones de contenido de carbono y la máxima resistencia a la atracción, así como las mismas propiedades con respecto a los choques. El cobre y las aleaciones de cobre *no* se deben utilizar.

165. a) *Materiales no metálicos.* Los cauchos más adecuados son el nitrilo y el neopreno dentro de sus limitaciones de temperatura. Los cauchos de butilo y de etileno propileno son menos permeables, pero, como son afectados por los lubricantes, sólo se pueden utilizar en sistemas de gas de amoníaco. El PTFE, el polipropileno, el polietileno y el nailon son relativamente poco afectados. La mayor parte de los demás cauchos de plástico no son adecuados, y en particular los elastómeros fluorados son afectados de forma muy negativa.

*Soportes del depósito*

166. Los depósitos horizontales deben estar apoyados en soportes de acero. Cuando éstos están soldados al depósito, la soldadura debe ser continua para que no pueda producirse una corrosión entre los soportes y el cuerpo

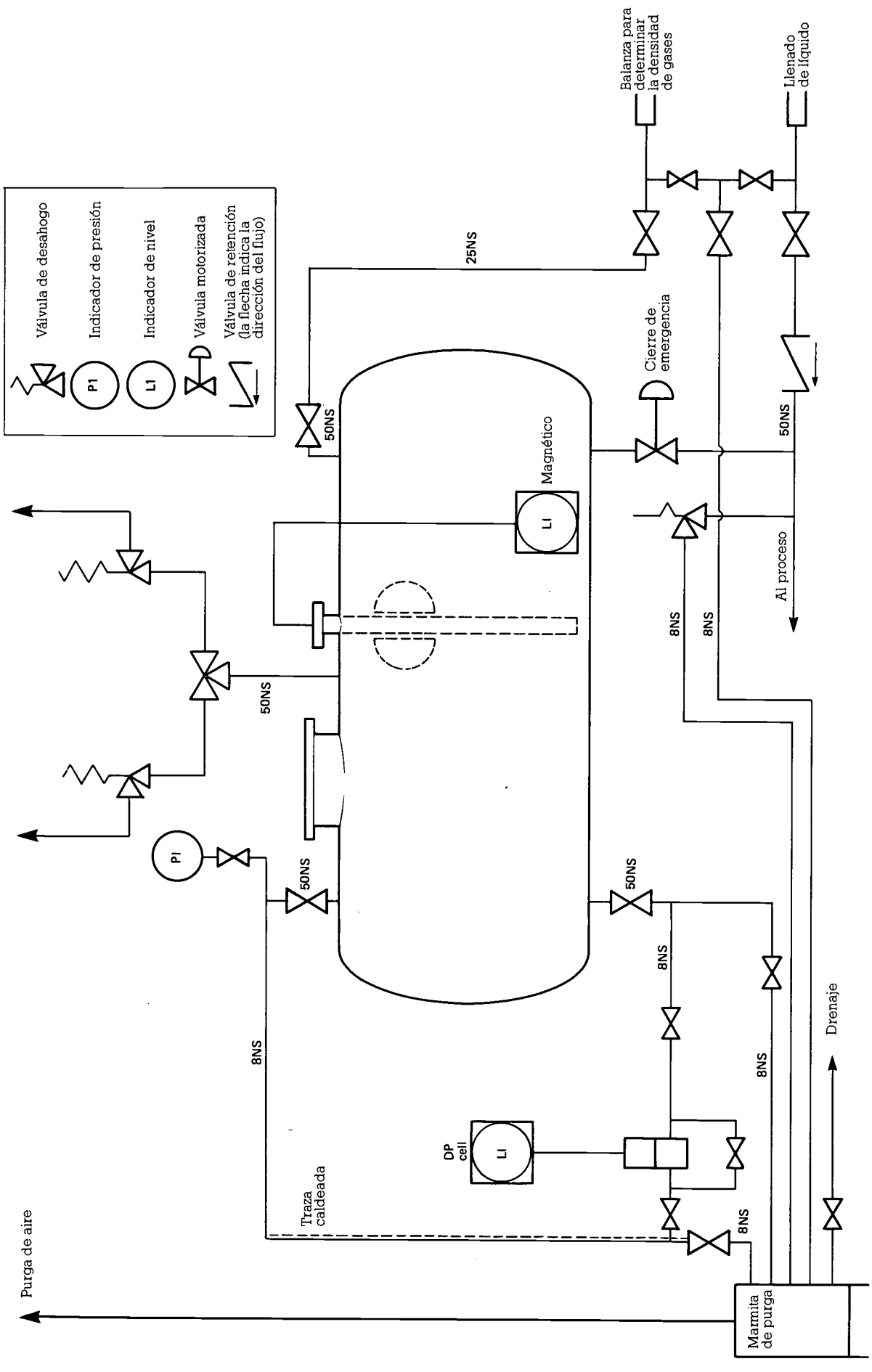



Diagrama lineal de pequeña instalación típica de almacenamiento a presión

del depósito. Los depósitos verticales deben estar dotados de un zócalo soldado. El montaje directo del depósito sobre un soporte de hormigón no es aceptable.

*Accesorios del depósito*

167. a) *Consideraciones generales.* El número de aperturas en el depósito debe reducirse a un mínimo. En aras de la seguridad, todas las toberas y válvulas de primer aislamiento deben ser de preferencia, por lo menos, de 50 NS, y en ningún caso inferiores a 25 NS. Cualquier derivación, con inclusión de los sifones invertidos, que penetra en el depósito por debajo del nivel máximo normal del líquido debe estar protegida por válvulas de cierre de emergencia teleaccionadas, salvo en el caso de pequeñas tuberías de perforación conectadas al contenido, los indicadores, etc., dentro de la zona protegida del emplazamiento del depósito. Estas válvulas de cierre deben montarse de preferencia directamente en la tobera apropiada sin ninguna tubería intermedia. Sin embargo, cuando esto no es factible, la tubería de salida debe ser lo más corta posible y tanto la tubería como la válvula deben ser de acero inoxidable austenítico.

b) *Apertura de acceso.* Se debe prever una apertura de acceso en la parte superior del depósito. Esta apertura debe tener, de ser posible, 600 mm de diámetro, pero en ningún caso un diámetro interno inferior a 460 mm*.

c) *Válvulas de desahogo.* Las válvulas de desahogo deben ajustarse a la norma BS 6759: Parte 3: 1984 y los tubos finales deben estar dispuestos de manera que den salida sin peligro por encima del punto más alto de cualquier estructura adyacente. Como mínimo deben dar salida por lo menos 5 metros por encima del punto más alto del depósito. La protección de los depósitos contra la presión excesiva se examina de manera más detallada en los párrafos 30 a 32.

d) *Indicadores de nivel.* Cada depósito debe estar equipado por lo menos con un indicador de nivel. No se deben utilizar los indicadores de nivel de tipo «visor» en los que el cristal está sometido a la presión del vapor de amoníaco.

e) *Rebordes de conexión a masa.* Cuando se requiera conexión a masa, los depósitos deben estar dotados de dos rebordes de conexión a masa de conformidad con la figura 22 de la norma BS 4741**, con la salvedad de que se debe utilizar acero austenítico en lugar de bronce para las clavijas y las arandelas y de que cualquier conductor de cobre debe estar envuelto para prevenir el contacto con el amoníaco.

f) *Escaleras de acceso.* Si las escaleras y las plataformas están fijadas al cuerpo del depósito, deben estar atornilladas a las abrazaderas que se han conectado al cuerpo del depósito mediante soldaduras de penetración plena antes de proceder a su termoestabilización definitiva. La escalera debe tener una anchura de por lo menos 750 mm, completada con barandillas y bordes inferiores. Las escaleras de mano colocadas sobre los depósitos existentes deben poser argollas y ser lo suficientemente fuertes para sostener a una persona que lleve un equipo respiratorio. Conviene examinar como alternativa las escaleras de pasarela larga.

*Detalles sobre la soldadura de las toberas*

Véase el párrafo 43.

*Pruebas y examen de los depósitos*

168. La prueba del depósito debe incluir el drenado con agua y las pruebas realizadas de conformidad con la cláusula 5.8.3 de la norma BS 5500***.

169. Todos los depósitos se deben examinar a fondo durante la construcción, de conformidad con los requisitos de las especificaciones de fabricación. Además, se debe realizar una inspección visual completa y un examen de detección de grietas con partículas magnéticas a lo largo de por lo menos el 10 por ciento de cada soldadura a tope en la superficie exterior del depósito.

**Cimientos**

170. Los principios indicados en los párrafos 51 a 53 se deben tomar como orientación general con respecto al diseño de los cimientos.

**Muros de protección**

171. Como se ha examinado en la introducción, habrá una escasa o nula recogida del líquido de un escape causada por la rotura de un depósito que funciona a tempe-

* Ley de fábricas de 1961 y regla 7 del Reglamento de las fábricas de productos químicos.

** BS 4741: 1971. *Vertical cylindrical welded steel storage tanks for low temperature service - single well tanks for temperatures down to 50 °C.* British Standards Institution.

*** BS 5500: *Specifications for unified fusion welded pressure vessels.* British Standards Institution.

ratura ambiente. Incluso un agujero muy pequeño ocasionará un escape de amoníaco equivalente al de un aerosol gas o líquido. La única excepción puede ser cuando se produce un escape insignificante de un prensaestopas de una válvula. La senda que sigue el escape suele ser suficientemente larga para que el gas y el líquido se separen y provoquen espirales de gas de amoníaco y para que se produzcan goteos de amoníaco líquido.

172. Las autoridades locales encargadas del agua pueden insistir en que se prevea un área de captación drenada por separado, pero esto es una cuestión normalmente de drenaje más que de formación de muros de contención de tierra.

173. Se recomienda que la zona sobre la que se encuentra el tanque de almacenamiento sea aplanada con un cemento fluido, dispuesto en pendiente hacia un sumidero, y que la zona se delimite con un pequeño bordillo que debe extenderse por lo menos 1 metro detrás de la cisterna o tuberías salientes.

174. Toda la zona de almacenamiento debe estar protegida contra las colisiones de vehículos.

**Equipo auxiliar**

175. Véanse los párrafos 57 a 82, tomando nota de que no hace falta un equipo de refrigeración para un almacenamiento a temperatura ambiente.

**Aislamiento**

176. Normalmente no es necesario aislar los tanques de almacenamiento a temperatura ambiente, pero si se aplica el aislamiento debido a requisitos particulares del proceso, véanse los párrafos 83 a 87.

**Instalaciones de seguridad del emplazamiento**

177. Véase el párrafo 88, tomando nota de que no se aplicarán los apartados *f)* y *j)* de ese párrafo.

178. Además, se considera que las mascarillas de respiración de tipo absorción química son adecuadas y que los trajes de protección ligeros son apropiados con fines de rescate y socorro.

**Capacitación y seguridad de los empleados**

Véanse los párrafos 89 a 97.

**Puesta en servicio y cierre definitivo**

179. Los principios establecidos en los párrafos 98 a 117 se deben considerar como una orientación general. Con los depósitos de relativa pequeñez es una práctica común purgar el aire del sistema directamente con gas de amoníaco. Esta es una práctica aceptable porque el riesgo de agrietamiento de corrosión por tensiones se ha reducido al mínimo mediante la elección de los aceros apropiados y de la estabilización térmica del recipiente.

180. Aunque sigue siendo aconsejable purgar el oxígeno del recipiente hasta donde sea posible, se puede tolerar una concentración superior de oxígeno. No obstante, se considera conveniente proseguir la purga hasta que se llegue a una concentración mínima del 90 por ciento de amoníaco en el aire en la descarga.

**Inspección y mantenimiento**

*Consideraciones generales*

181. Lo siguiente sólo se aplica a los depósitos que están totalmente aliviados de tensión. Con respecto a cualquier depósito existente no aliviado de tensión que se utilice para almacenamiento de amoníaco bajo presión se deben aplicar los procedimientos de inspección y examen indicados en los párrafos 118 a 142 de esta guía. Todos los recipientes deben ser inspeccionados a fondo por una persona competente durante la construcción de conformidad con los requisitos de las especificaciones de fabricación (véase el párrafo 161) y otra vez después de no más de tres años de servicio*. Los exámenes periódicos subsiguientes se deben efectuar con intervalos determinados por las autoridades de inspección competentes, según los resultados del primer examen y de los exámenes posteriores de mantenimiento. En ningún caso el segundo examen se debe efectuar con un intervalo superior a seis años del primero y los posteriores con un intervalo superior a doce años.

*Parte interior*

182. Después de efectuar un examen visual completo para detectar cualquier signo evidente de deterioro, se debe realizar un examen con partículas magnéticas. El primer examen en activo debe abarcar el 100 por ciento de todas las soldaduras a tope internas.

* Los depósitos a que se refiere esta parte de la guía se fabrican en taller y están termoestabilizados; por tal razón, el intervalo entre las inspecciones se ha aumentado con respecto al exigido para los depósitos esféricos.

183. Si se descubren defectos importantes, la inspección siguiente se debe efectuar en un plazo de dos años y debe incluir otra inspección con partículas magnéticas del 100 por ciento de las soldaduras.

184. Con la condición de que no se hayan descubierto defectos importantes, cualquier inspección posterior debe incluir por lo menos todas las junturas en T y el 10 por ciento de la extensión total de las soldaduras a tope elegidas al azar (para detalles de las técnicas que utilizan partículas magnéticas, véanse los párrafos 125 a 128).

185. En la presente guía no se exige una prueba hidráulica, pero la persona competente puede pedirla. Normalmente sólo se exigirá si se ha considerado necesario efectuar reparaciones en las soldaduras (véase el párrafo 120).

186. Las soldaduras de la conexión de la tobera al cuerpo del depósito deben inspeccionarse con el método de las partículas magnéticas para detectar grietas y, si se descubren defectos, se deben aplicar los requisitos de la inspección indicados en el párrafo 119.

187. Cuando la corrosión es evidente o se sospecha que existe, se deben efectuar mediciones ultrasónicas del espesor.

*Parte exterior*

188. Si el examen interno pone de manifiesto un defecto importante, se debe efectuar una evaluación de la superficie exterior. Si se trata de un depósito no aislado, el examen debe consistir en una inspección visual completa y en un examen de detección de grietas con partículas magnéticas a lo largo de por lo menos el 10 por ciento de cada soldadura a tope y frente al lugar donde se encuentra el defecto. Si se trata de un depósito aislado, se podrá efectuar una prueba de detección ultrasónica de la fisura desde dentro del depósito de por lo menos el 10 por ciento de cada soldadura a tope externa y del lado opuesto al defecto en lugar del examen externo. Si se descubre algún defecto externo importante, la extensión del examen debe aumentarse según el criterio de la persona competente.

189. Además, en cada examen posterior en que se detecten defectos internos importantes se debe efectuar un examen externo de detección de grietas con partículas magnéticas o unas pruebas de detección ultrasónica de fisuras desde dentro del depósito para verificar la integridad de la superficie exterior del lado opuesto a los defectos internos.

190. El cuerpo del depósito y las toberas deben examinarse para detectar si existe alguna corrosión exterior y también debe inspeccionarse una parte de las soldaduras en las que se han detectado grietas. Cuando la corrosión es evidente, se deben tomar medidas ultrasónicas del espesor.

191. Conviene inspeccionar los soportes externos, prestando particular atención a cualquier zona entre el depósito y el soporte que no sea fácilmente accesible y en la que se pueda producir una corrosión oculta.

192. Todas las tuberías conectadas con la instalación, con inclusión de las válvulas y otro equipo auxiliar, deben inspeccionarse para detectar si hay corrosión y protegerlas.

193. Todas las válvulas en línea, como las válvulas de aislamiento y las válvulas de control remoto, se deben retirar e inspeccionar.

194. Todos los instrumentos y alarmas se deben inspeccionar y volver a calibrar.

195. Las válvulas de seguridad se deben inspeccionar y poner a prueba por lo menos una vez cada dos años. Si se instala un sistema de inmovilización para que las válvulas de desahogo se puedan examinar sin dejar fuera de servicio el depósito, ese sistema debe verificarse a fondo.

196. Todas las clavijas, pasadores o pernos con tuercas de cierre y montaje del depósito deben sustituirse. Todos los obturadores con bridas y clavijas/pasadores deben sustituirse en la tubería entre el depósito y la primera válvula de aislamiento.

*Informe sobre el examen completo*

Véase el párrafo 140.

*Plan de emergencia*

Véase los párrafos 143 a 148.

*Inspección regular*

197. Además del examen periódico y completo, se deben llevar a cabo las siguientes verificaciones disciplinarias con carácter de rutina:

*a)* Por lo menos una vez al año se debe evaluar la disponibilidad general de la instalación para el servicio. Una persona competente debe efectuar un meticuloso examen visual de la parte externa del depósito y el equipo auxiliar, prestando atención a la corrosión local, particularmente en las toberas.

*b)* Todas las válvulas, alarmas y sistemas de desconexión automáticos deben verificarse con periodicidad, por ejemplo una vez al mes, para asegurarse de su funcionamiento satisfactorio.

*c)* El buen cuidado y orden generales en la zona deben incluir su conservación libre de escombros y malezas.

*d)* Las bocas de riego deben ponerse en estado de servicio y mantenerse con regularidad.

*e)* Periódicamente se debe comprobar que se dispone de todo el equipo de seguridad en el emplazamiento y que ese equipo se mantiene de conformidad con las instrucciones del fabricante. Además, los trabajadores deben verificar a diario que su equipo de seguridad personal, como ropa de protección, aparatos de respiración, gafas y guantes, está a disposición y en condiciones de prestar servicio.

*f)* Los avisos con instrucciones, el número de identidad del depósito y la nomenclatura de la válvula deben exponerse en lugar visible constantemente.

*g)* La iluminación del emplazamiento debe mantenerse y ponerse en estado de servicio con regularidad, es decir, mantenerse limpia y en condiciones de funcionamiento.

## Bibliografía

### Otras normas pertinentes

BS 1515: Fusion-welded pressure vessels for use in the chemical, petroleum and allied industries. (Ahora retirada.)

ASTM E208: Tentative method for conducting drop weight tests to determine nil ductility temperatures of ferritic steels, 1969. The American Society for Testing and Materials.

BS 3799: Steel pipe fittings, screwed and socket-welding for the petroleum industry, 1974. British Standards Institution.

ANSI B.16.11: Forged steel fittings, socket-welding and threaded, 1973. American National Standards Institute.

### Información básica

«Chronic toxicity of $NH_3$, «fumes by inhalation» – J.H. Weatherby – Actas de la Sociedad de Biología Experimental en Medicina, octubre de 1952, págs. 300–301.

«Comparative life fire and explosion hazards of common refrigerants» – The Underwriters Laboratories, noviembre de 1933.

«Determination of the explosion limits of gases» – H.A. Pieters, J.W.J. Hovers y B.J. Rietveld – Fuels in science and practice, vol. 26, núm. 3, 1947, págs. 80–81.

«Etude expérimentale des propriétés de l'ammoniac» – Chimie et industrie génie chimique, vol. 102, núm. 6, octubre de 1969.

«Limits of flammability of gases and vapors» – H.F. Coward y C.W. Jones – Boletín 503, Oficina de Minas, 1952.

«Physiological response of man to ammonia in low concentrations», L. Silverman y cols. – The Journal of Industrial Hygiene, marzo de 1949, págs. 74–78.

«Note on the Flammability of Ammonia» – APEA Technical Committee.

Flammability and Explosibility of Ammonia – I. Chem. E. Symposium Series núm. 49, págs. 31–39 – G.F.P. Harris y P.E. McDermott.

«Regulations for the transportation of explosives and other dangerous articles by land and water, rail, freight express and baggage service and by motor vehicle (highway) and water, including specifications» – Departamento de Transporte, Estados Unidos de América.

«Tables of thermodynamic properties of ammonia» – Information circular núm. 142, Oficina de Normas de los Estados Unidos, abril de 1923.

«The total and partial pressure of aqueous ammonia solutions» – T.A. Wilson – Boletín núm. 146, Universidad de Illinois, 1925.

«The toxicity of ammonia» – E.C. King – Science, 21 de julio de 1951, pág. 91.

Dangerous Substances (Conveyance by Road in Road Tankers and Tank Containers) Regulations 1981, and Approved Code of Practice on the operational provisions of the regulations, dealing with loading and delivery procedures and construction, maintenance and labelling of vehicles.

ADR, «International Regulations Concerning the Carriage of Dangerous Goods by Road».

«Dangerous goods by freight train and by passenger train or similar service. List of Dangerous Goods and Conditions of Acceptance (BR 22426 (Revised))» – British Railways Board.

«International Regulations concerning the carriage of dangerous goods by rail». (RID) – Her Majesty's Stationery Office.

### Manipulación y almacenamiento seguros

«Acid and caustics» – Safe practices pamphlet No 25 – National Safety Council, 1941.

«Ammonia» – Toxicological Review, septiembre de 1948 – American Petroleum Institute. «Anhydrous Ammonia» – Chemical safety data sheet SD8 – Manufacturing Chemists' Association Inc. 1960.

«Anhydrous Ammonia» – Panfleto G – 2, Compressed Gas Association Inc, Nueva York, 1949.

«Anhydrous Ammonia, its storage, feeding and safe handling» – R.J. Quinn y Ralph L. Carr – Water Works and Sewage, junio de 1941.

«Aqua-ammonia» – Chemical safety data sheet SD-13, Manufacturing Chemists' Association Inc, 1947.

«Handling ammonia for metal treatment» – L.H. Brandt – Metals and alloys, junio de 1942.

«New rules of ammonia highway tank transports» – CEP technical manual – Safety in air and ammonia plants, vol. 11, págs. 46–49.

«Rupture of an ammonia road tanker at Lievin (France)» – CEP technical manual – Safety in ammonia plants and related facilities, vol. 12.

«Safe handling of ammonia solutions» – H.R. Kruger – Agricultural chemicals, noviembre de 1951, págs. 46 y siguientes.

«Safe handling of compressed gases» – Compressed Gas Association Inc, Nueva York.

«Safety in the use and handling of ammonia» – W.L. Nelson – Oil and Gas Journal, 16 de septiembre de 1948, págs. 1053 y siguientes.

«Safety recommendations for the construction of tank cars for the transport of ammonia by road» – Association des Producteurs Européens d'Azole (APEA).

«Storage and handling of anhydrous ammonia in tank car quantities» – L.H. Brandt, Chemical Industries, agosto de 1943.

**Información general**

«Anhydrous ammonia» – Chemical safety data sheet SE-8, revised – Manufacturing Chemists' Association Inc.

«Anhydrous ammonia» – Panfleto G-2 – Compressed Gas Association Inc, Nueva York. Corrosion, vol. 18, pág. 229 – Loginow y Phelps, 1962.

«Rules and recommendations relating to the unloading of tank cars of ICC-105A and ICC-112A types containing anhydrous ammonia and the leasing of tracks or railroad property adjacent thereto for this purpose» – Bureau of Explosives circular núm. 17-F, 5 de enero de 1962, Bureau of Explosives, Association of American Railroads.

**Información adicional**

«Anhydrous ammonia» – National Safety Council, Chicago, 1954.

«Recommendations for prevention of $NH_3$, contamination of LP-gas» – National LP-gas Association, Chicago.

## Referencias

Ley de 1974 sobre salud y seguridad en el trabajo, etc., HMSO.

BS 5500: *Specifications for unfired fusion welded pressure vessels* (edición más reciente). British Standards Institution.

BS 4741: *Vertical cylindrical welded steel storage tanks for low temperature service – single wall tanks for temperatures down to minus 50 °C,* 1971. British Standards Institution.

CP 2004: *Foundations,* 1972. British Standard Code of Practice.

BS 3274: *Tubular heat exchanges for general purposes,* 1960. British Standards Institution.

*Frost Heaves and Storage Vessel Foundation. CEP Technical Manual – Safety in ammonia plants and related facilities,* vol. 12.

BS 3351: *Piping systems for petroleum refineries and petro-chemical plants,* 1971. British Standards Institution.

ANSI B31.3: *American National Standard – Code for pressure piping – Chemical plant and petroleum refinery piping,* 1976.

BS 2633: *Class 1 Arc Welding of Ferritic Steel Pipework for carrying fluids,* 1973. British Standards Institution.

BS 4434: *Requirements for Refrigeration Safety Part 1,* 1969. British Standards Institution.

BS 4683: *Electrical apparatus for explosive atmospheres, Part 3,* 1972. British Standards Institution.

BS 5970: *Code of Practice for thermal insulation of pipework and equipment in the temperature range of –100 °C to +870 °C.*

Código de prácticas relativo al almacenamiento masivo de amoníaco anhidro plenamente refrigerado en el Reino Unido. Chemical Industries Association, mayo de 1975.

Ley de fábricas de 1961, artículo 30, y Reglamento de 1922 sobre fábricas de productos químicos, regla 7.

Véase *Health and Safety in Factories* de Redgrave, segunda edición, Butterworth Shaw & Sons, 1982, para un examen de estos requisitos.

***Nota*** ABCM Safety and Management: A guide for the Chemical Industry, vuelto a publicar en abril de 1972 por la Chemical Industries Association. El capítulo 7 interpreta la ley de fábricas en detalle y es útil como documento de consulta complementario.

Health and Safety Executive Guidance Note GS 14 – *Safety in Pressure Testing,* HMSO.

BS 6072 – *Method for magnetic particle flow detection.* British Standards Institution.

*Control of Industrial Major Accident Hazards (CIMAH) Regulations 1984* SO 1984 núm. 1902 HMSO.

HSE Booklet HS(R) – *A Guide to the Control of Industrial Major Accident Hazard Regulations 1984.* HMSO.

HSE Guidance Note on the Preparation of Emergency Plans (se publicará en breve).

Recommended Procedures for Handling Major Emergencies, segunda edición, 1976, publicado por la Chemical Industries Association.

BS 6759: Part 3: 1984 *Specification for Safety Valves for Process Fluids.*

**Apéndice 6**

# Ejemplo de un informe sobre seguridad

Este es un ejemplo del informe de seguridad que se exige a todas las grandes fábricas que presentan riesgos de accidentes mayores y están sometidas a la «Directiva de Seveso» de la CEE. Lo ha preparado la dirección de una fábrica que existe en la República Federal de Alemania y se reproduce con el permiso de Umweltbundesamt, Fachgebiet «Aufklärung der Öffentlichkeit in Umweltfragen», Bismarckplatz 1, 1000 Berlín (Occidental) 33.

Este manual está destinado a los países que disponen de sistemas bien establecidos de control de los riesgos de accidentes mayores y a otros que están considerando la conveniencia de adoptar un sistema de este tipo por primera vez. Un informe de esta complejidad resulta probablemente más adecuado para los países de la primera categoría, pero todos los países que no cuentan con un sistema de presentación de informes deben estudiar qué elementos del informe de seguridad resultarían apropiados a sus propias necesidades y prácticas.

# *Informe sobre seguridad preparado en aplicación del artículo 7 de la Ordenanza sobre control de riesgos de accidentes mayores de la República Federal de Alemania (Störfallverordnung) para una planta de procesamiento de acroleína (fábrica Deka)*

**Informe sobre seguridad relativo a una planta existente**
**Preparado en 1982**

## Indice

**1. Descripción de la planta y de los procedimientos (artículo 7 (1) 1)**

1.1 Descripción de la planta
1.1.1 Emplazamiento
1.1.2 Zonas de protección
1.1.3 Accesibilidad
1.2 Procesos
1.3 Razón para limitar el informe sobre seguridad al procedimiento núm. 6: conversión con acroleína
1.4 Diseño de construcción
1.5 Descripción del procedimiento
1.5.1 Descarga y almacenamiento de la acroleína
1.5.2 Producción
1.5.3 Suministro de energía

**2. Descripción de los sistemas relacionados con la seguridad, los riesgos y las condiciones previas para que ocurra un accidente (artículo 7 (1) 2)**

2.1 Sistemas relacionados con la seguridad
2.1.1 Descarga de la acroleína
2.1.2 Almacenamiento de la acroleína
2.1.3 Separador de agua B 71 y depósito R 72
2.1.4 Bomba de inyección P 71 A/B
2.1.5 Antorcha para la descarga gaseosa A 750
2.1.6 Tuberías y válvulas
2.2 Riesgos y condiciones previas de un accidente

**3. Identificación química de las sustancias; estado y cantidad de sustancias de conformidad con el apéndice II (artículo 7 (1) 3)**

**4. Descripción del cumplimiento de los requisitos impuestos en los artículos 3 a 6 (artículo 7 (1) 4)**

4.1 Medición de la prevención de accidentes
4.1.1 Riesgos operativos especiales
4.1.1.1/2 Descarga y almacenamiento de la acroleína
4.1.1.3 Separador de agua B 71 y depósito R 72
4.1.1.4 Bomba de inyección P 71 A/B
4.1.1.5 Antorcha para la descarga de gases A 750
4.1.1.6 Tuberías y válvulas
4.1.2 Riesgos operativos generales
4.1.2.1 Corrosión
4.1.2.2 Empleo de materiales inadecuados
4.1.2.3 Toma de muestras
4.1.2.4 Pérdida de energía
4.1.2.5 Fallos de las máquinas
4.1.2.6 Protección contra los incendios y explosiones
4.1.3 Riesgos de accidentes de las demás dependencias operativas de la fábrica Deka
4.1.4 Riesgos de accidentes que tienen su origen en el medio ambiente
4.1.4.1 Plantas adyacentes
4.1.4.2 Tráfico
4.1.4.3 Riesgos naturales de accidentes
4.1.5 Sabotaje
4.2 Medidas para limitar las consecuencias de los accidentes
4.2.1 Cimientos y estructuras de soporte
4.2.2 Medidas de protección y sistemas de seguridad
4.2.3 Planes de emergencia
4.2.3.1 Emergencias iniciadas por acontecimientos producidos en la fábrica Deka
4.2.3.2 Emergencias iniciadas por acontecimientos en las plantas circundantes
4.2.4 Responsabilidad
4.3 Medidas complementarias
4.3.1 Actividades de vigilancia, mantenimiento y reparación
4.3.2 Formación del personal e instrucciones de funcionamiento y seguridad
4.3.3 Documentación

**5. Consecuencias de los accidentes (artículo 7 (1) 5)**

## Figuras

6.1 Plano del emplazamiento y de la zona circundante
6.2 Plano del emplazamiento
6.3–6.7 Procesos de los diagramas
6.8 Diagrama básico «Producción de XXX con uso de acroleína»
6.9 Lista del equipo con datos del diseño para el procedimiento núm. 6: conversión con acroleína
6.10 Descarga de la acroleína frente al edificio E 405
6.11 Plano del tanque de almacenamiento, edificio G 404
6.12 Plano del edificio G 400, plataforma de 4,5 m (extractado de los dibujos de la construcción y de la colocación de los componentes)
6.13 Descarga y almacenamiento de la acroleína, suministro de $N_2$ (diagrama de circulación)
6.14 Separador B 71 y tratamiento del desecho líquido R 72 (diagrama de circulación)
6.15 Bombas de dosificación P 71 A/B (diagrama de circulación)
6.16 Antorcha (A 750) (diagrama de circulación)
6.17 Datos relacionados con el material y la reacción de acroleína

La fábrica Deka es una planta dedicada a productos intermedios orgánicos. Los procedimientos individuales de producción son totalmente independientes entre sí y se introdujeron también en momentos diferentes.

La fábrica consta de *una sola* planta, según lo dispuesto en la ley federal sobre control de la contaminación (BImSchG).

## 1. Descripción de la planta y de los procedimientos

**(Artículo 7 (1) 1)**

### 1.1. Descripción de la planta

La fábrica Deka comprende el almacén de depósito G 404 con una estación de descarga de acroleína cerca del edificio E 405 y el edificio de producción G 400 (planta a cielo abierto). Al sur hay un edificio adosado que contiene las oficinas, los laboratorios y la sala de control.

#### 1.1.1. Emplazamiento

La fábrica está situada en el emplazamiento de la BASF adyacente (véase la figura 6.1) a las demás plantas de producción (XXX al norte y al este) y a las plantas de almacenamiento y envasado (XXX al oeste). La distancia de las demás plantas es la siguiente: talleres, 80–100 metros; depósito de material G 306, 150 metros; taller de aprendizaje H 307, 200 metros; cantina H 421, 200 metros; límite del emplazamiento, 250 metros.

La fábrica está rodeada por carreteras propias sólo por el sur (en dirección oeste-este) y por el este (en dirección sur-norte). El edificio que contiene las oficinas y las salas de control está situado sobre la carretera de oeste a este. La carretera de sur a norte está cerrada al tráfico debido a que en ella se detienen los vagones cisternas.

La estación de descarga de los vagones cisternas de acroleína está situada en las zonas de protección de cierre en torno a los almacenes de depósito F 405 y E 405 al oeste del edificio E 405.

#### 1.1.2. Zonas de protección

De acuerdo con las directrices de protección contra las explosiones (EX-RL) publicadas por BG Chemie, el edificio G 400 se clasifica como un emplazamiento peligroso de zona 1, a temperaturas de ignición >135 °C (Ex T4). De acuerdo con VbF/TRbF, el almacén de depósito G 404 se clasifica como un emplazamiento peligroso de las zonas 1 y 2, a temperaturas de ignición >135 °C (Ex T4) dentro de sus zonas de protección según el TRbF 110 (véase Ex-Notiz)[1].

#### 1.1.3. Accesibilidad

Las instalaciones de la fábrica son accesibles desde varios lados a través de las carreteras de paso (vías de escape, socorro y lucha contra incendios). Las vías de escape del edificio G 400 satisfacen los requisitos del Reglamento de prevención de los accidentes; Se pueden ver fácilmente en la figura 6.12.

### 1.2. Procesos

En la fábrica se llevan a cabo los procesos siguientes (diagramas básicos de las figuras 6.3 a 6.7):

1. Conversión de los aldehídos en los aminos alquílicos correspondientes con amoníaco; verbigracia,

$$2\,CH_3\text{-}CH_2\text{-}CHO + NH_3 + 2\,H_2 \rightarrow (CH_3\text{-}CH_2\text{-}CH_2)_2\,NH + 2\,H_2O$$

Propionaldehído + amoníaco
→ Di-n-propilamina + agua + hidrógeno.

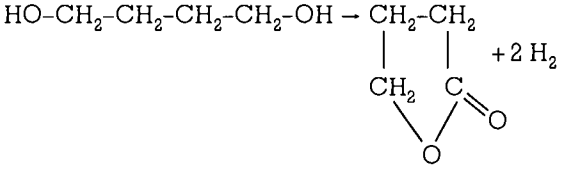
2. Conversión de los alcoholes en los aminos alquílicos correspondientes con amoníaco; verbigracia,

$$CH_3\text{-}\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}\text{-}CH_3 + NH_3 \rightarrow CH_3\text{-}\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}}\text{-}CH_3 + H_2O$$

Isopropanol + amoníaco → isopropilamina + agua.

3. Conversión de los aldehídos en los aminos alquílicos correspondientes con aminas, por ejemplo, XXX.

4. Deshidrogenación del butano diol-1,4 para transformarse en butirolactona,



Butano diol-1,4 → r-butirolactona + hidrógeno.

5. Hidrogenación de los insaturados; verbigracia,

$$CH_3\text{-}CH_2\text{-}CH=\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}\text{-}CHO + H_2 \rightarrow CH_3\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}\text{-}CHO$$

2-metilpentanal + hidrógeno → 2-metilpentanal.

6. Síntesis de XXX a partir de la acroleína y reacción del componente B,

Sustancia B + $CH_2=CH_2$ - CHO → XXX.

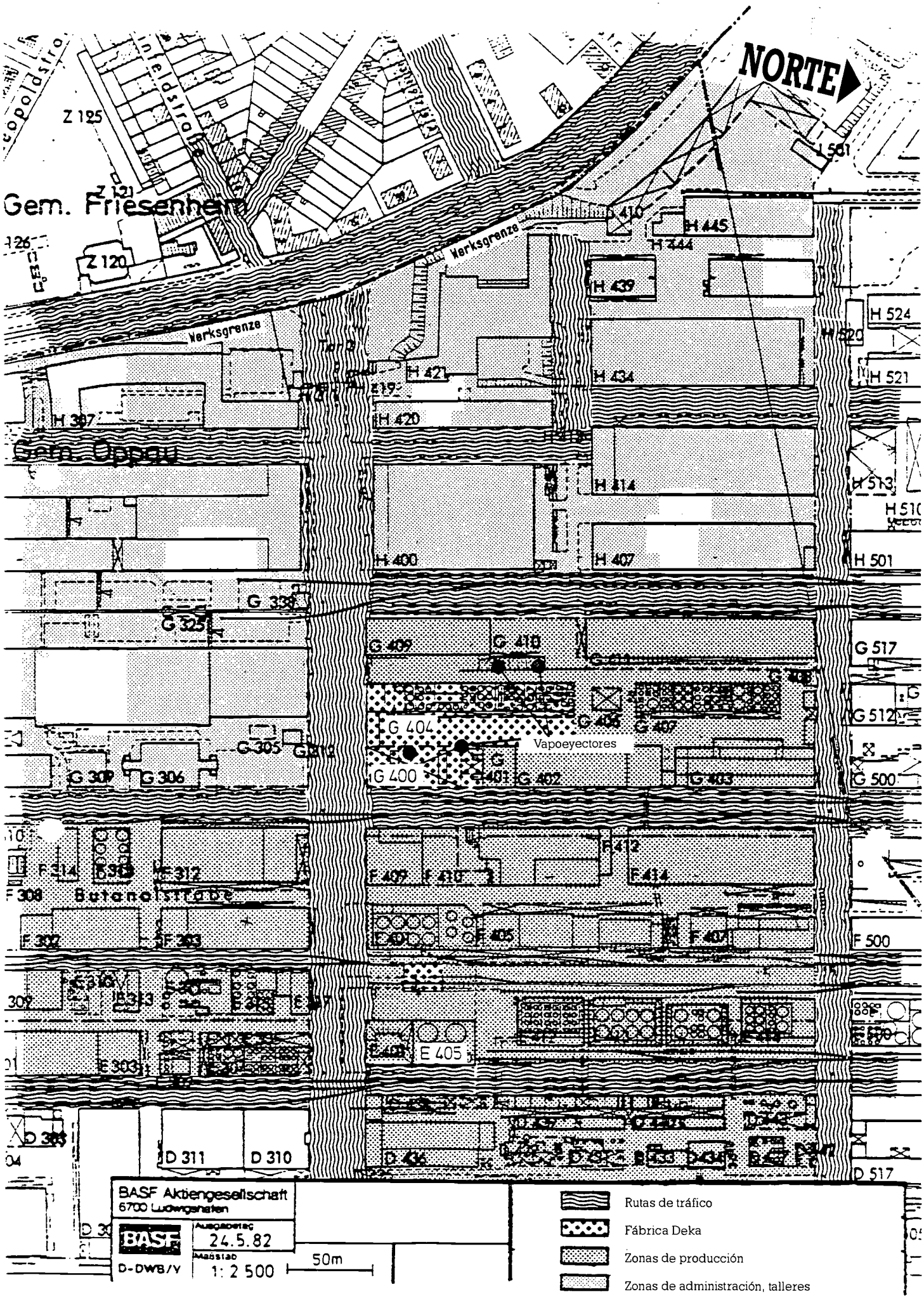



**Figura 6.1. Plano del emplazamiento y de la zona circundante**

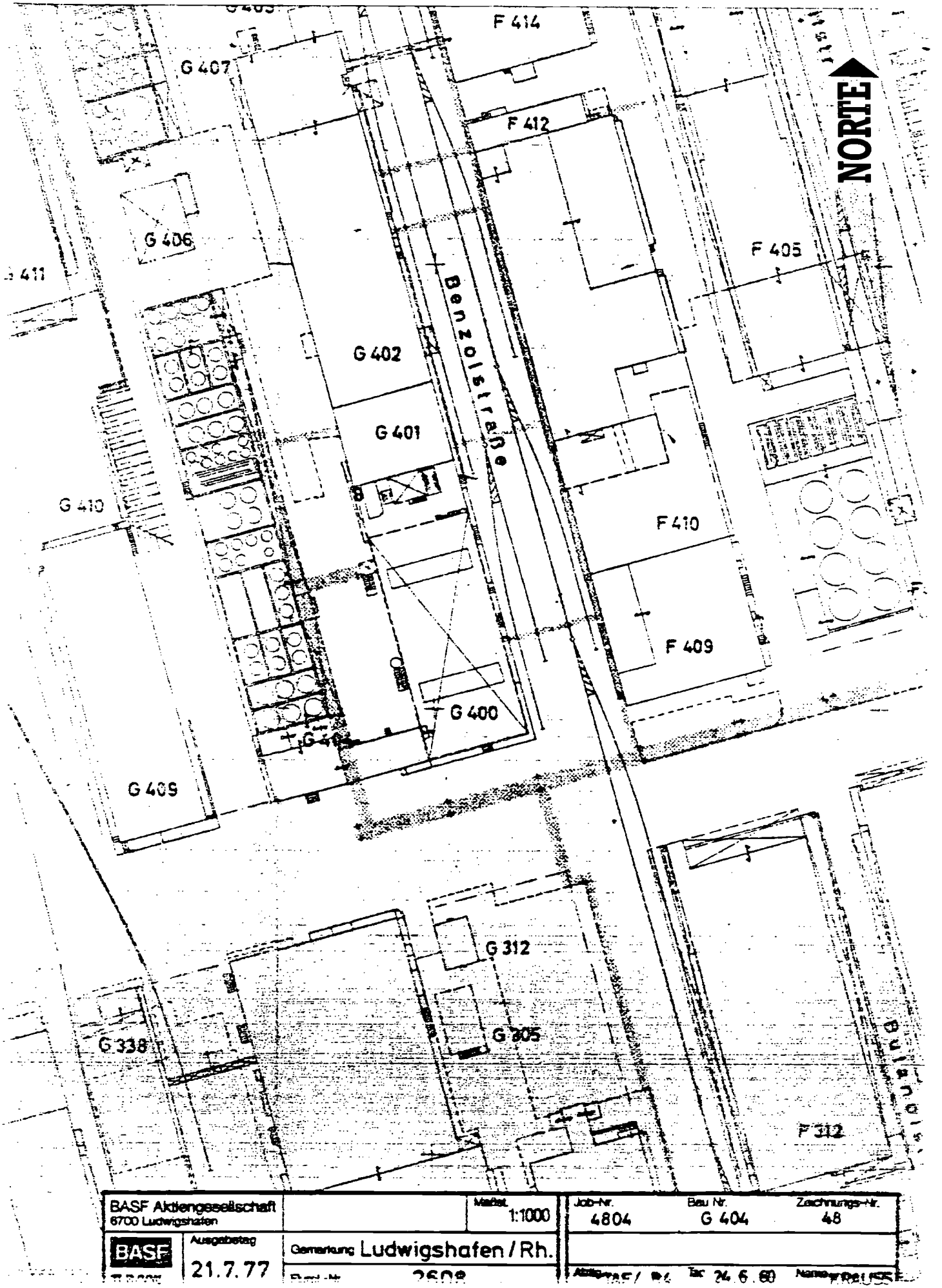



**Figura 6.2. Plano del emplazamiento**

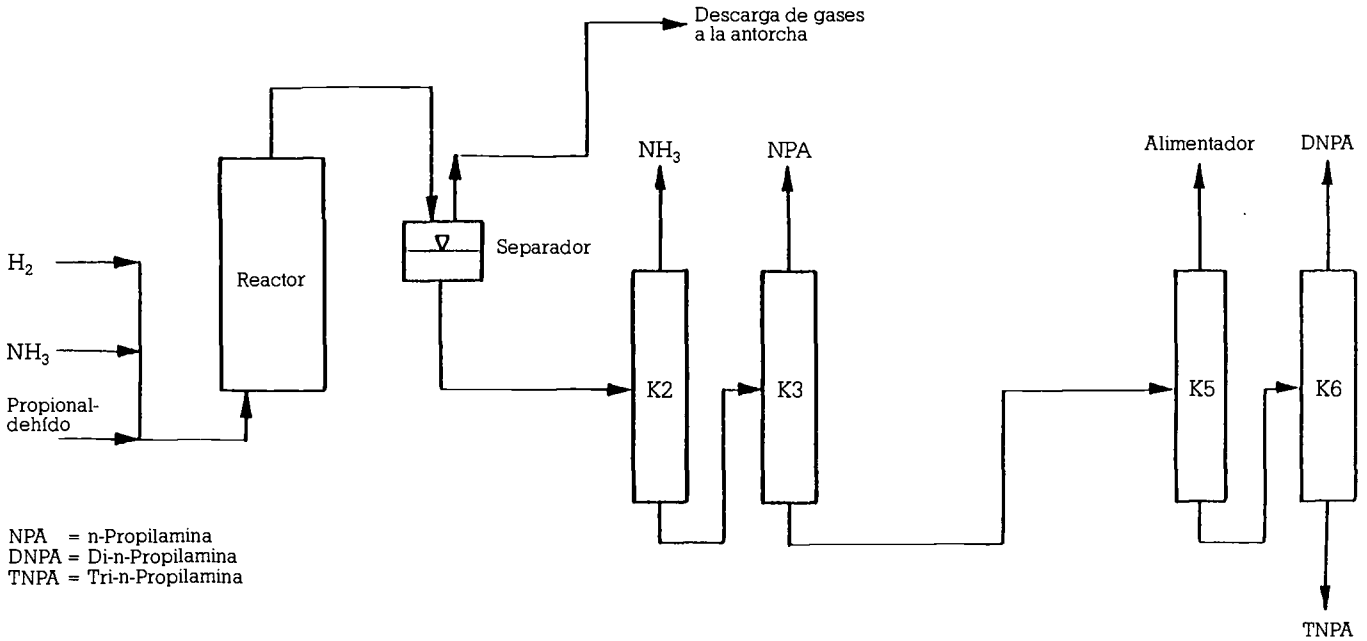



**Figura 6.3. Conversión de aldehídos con amoníaco**

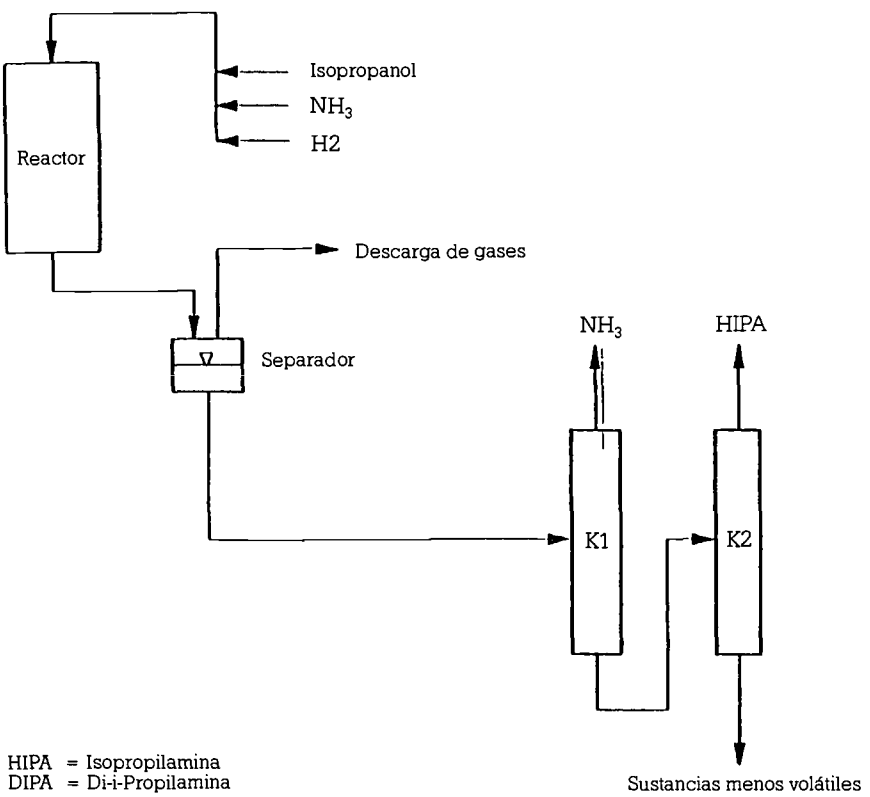



**Figura 6.4. Conversión de alcoholes con amoníaco**

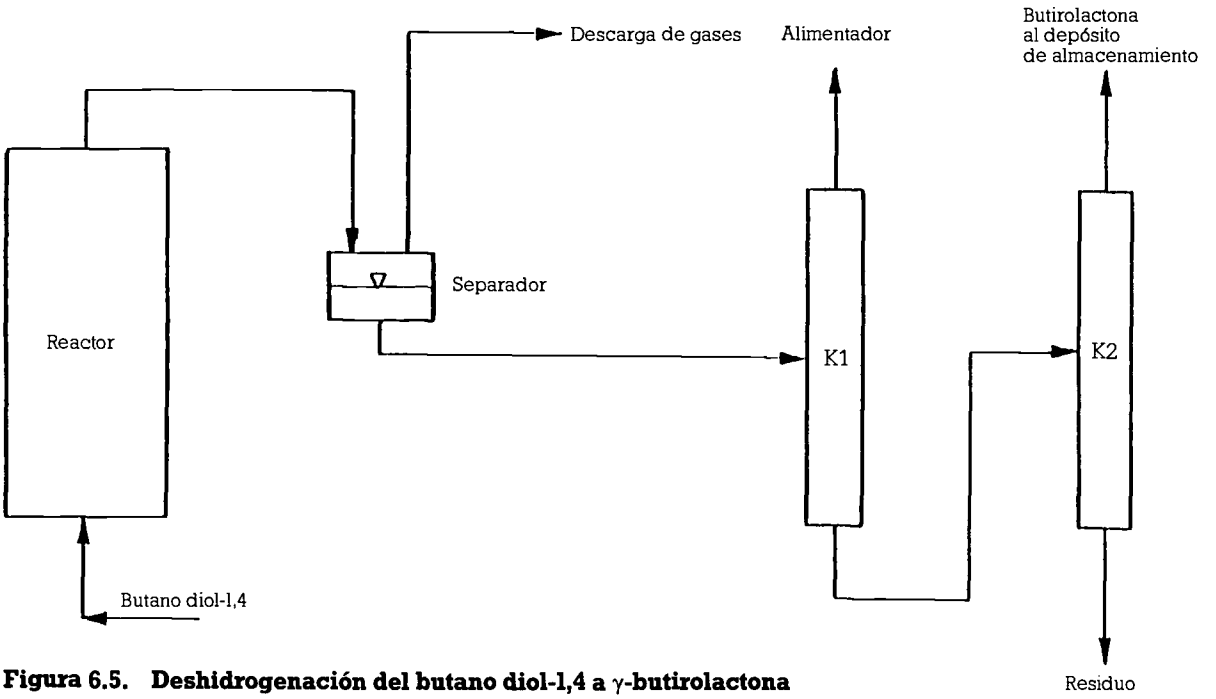



**Figura 6.5. Deshidrogenación del butano diol-1,4 a γ-butirolactona**

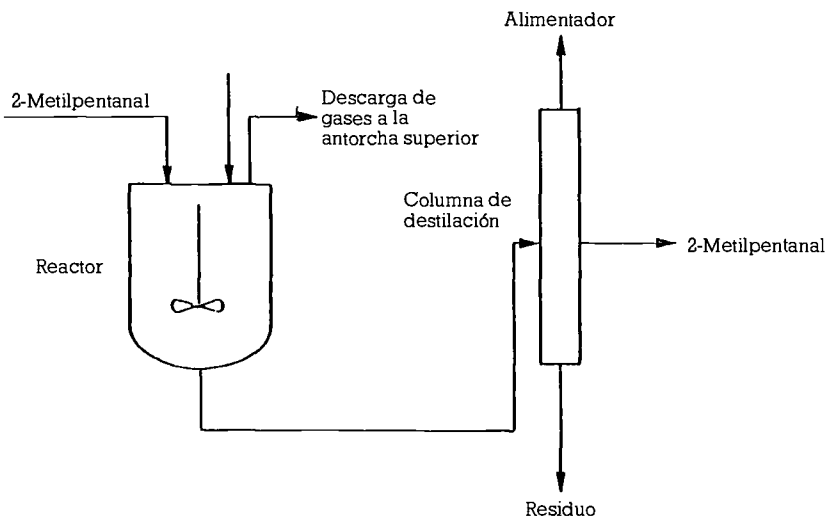



**Figura 6.6. Hidrogenación de insaturados**

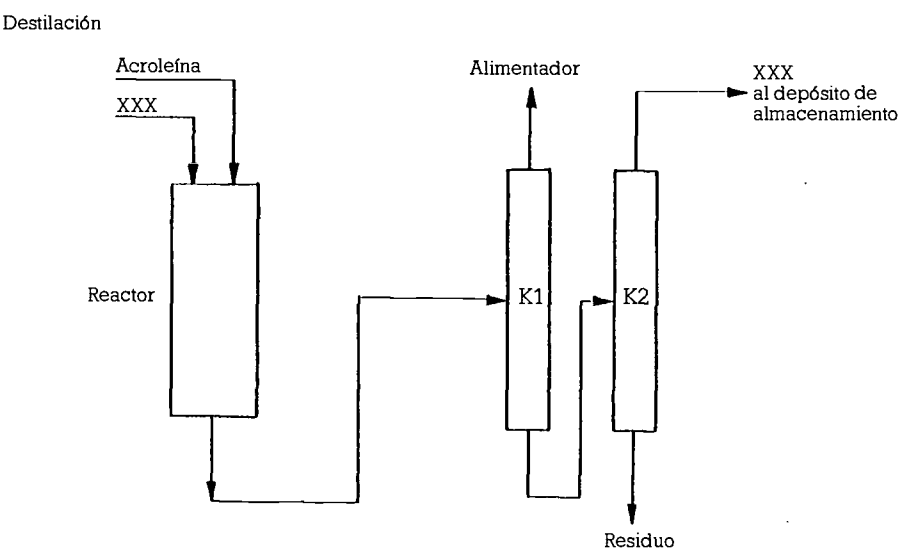



**Figura 6.7. Conversión con acroleína**

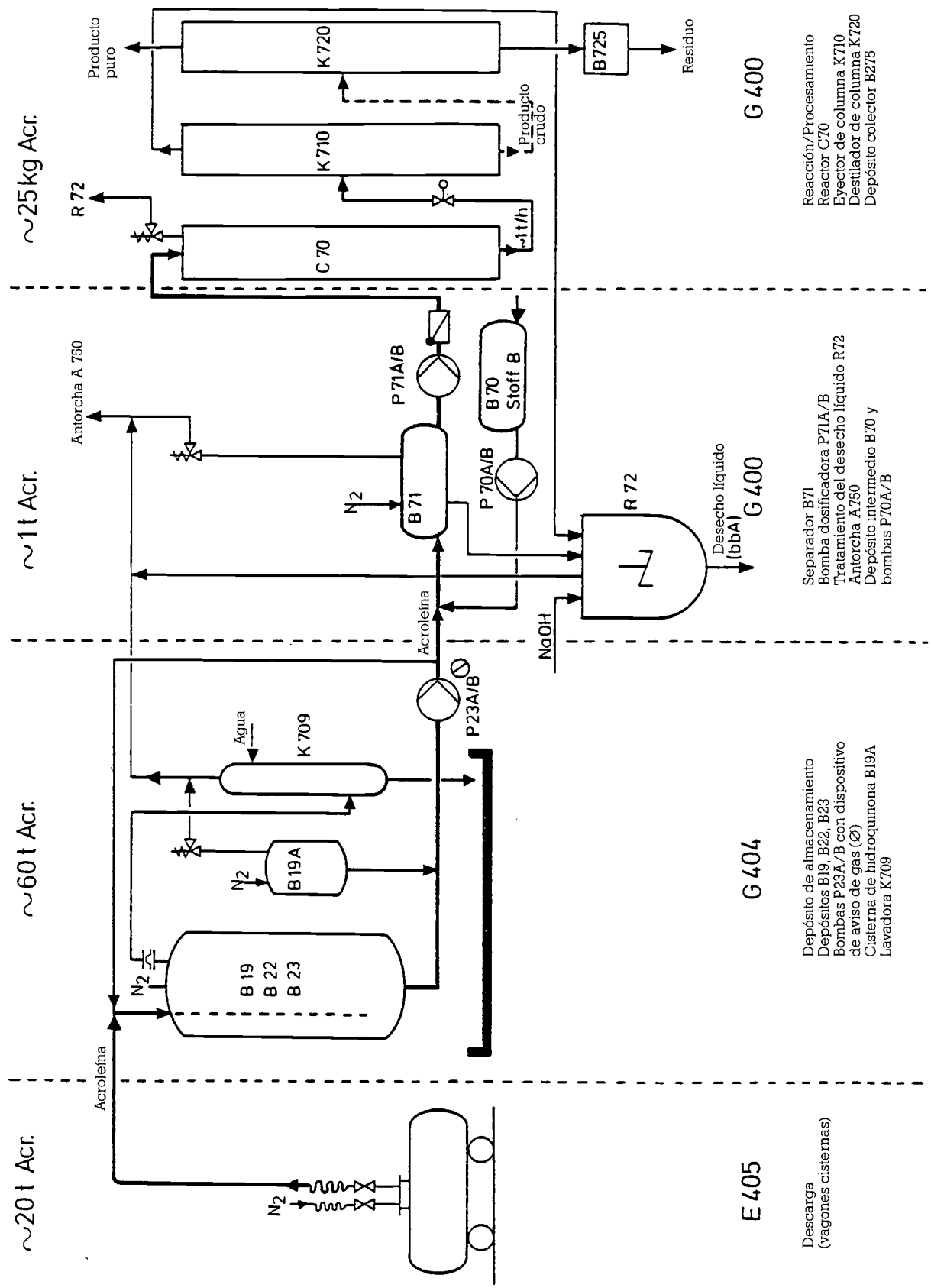



**Figura 6.8. Diagrama básico «Producción de XXX con uso de acroleína»**

### 1.3. Razón para limitar el informe sobre seguridad al procedimiento núm. 6: conversión con acroleína

Las dependencias de la planta en las que se utilizan los procedimientos 1 a 5 están integradas en la fábrica Deka. Sin embargo, son dependencias de la planta autosuficientes e independientes que no están vinculadas por la cadena del producto.

Sólo con el procedimiento 6 se utiliza una sustancia enumerada en el apéndice II de la Ordenanza sobre control de riesgos de accidentes mayores, a saber, la acroleína (véase el diagrama básico de la figura 6.8).

Al examinar los riesgos, se debe prestar particular atención a los posibles riesgos que se originen en las dependencias 1 a 5 de la planta (4.1.3).

### 1.4. Diseño de construcción

El equipo que transporta el producto, las tuberías y las válvulas de la planta de acroleína se fabrican de acero inoxidable (1,4541) y, además, de conformidad con las especificaciones de los medios del proyecto[2]. Los datos del diseño y los detalles relativos a la construcción del equipo están documentados en la lista del equipo (figura 6.9) y en las hojas de los datos técnicos[3].

Las características del diseño de los edificios G 400 y G 404 se muestran en los dibujos de construcción y dibujos relativos a la colocación de los componentes. La figura 6.12 es un extracto de esos dibujos. La seguridad de los edificios se verificó en el marco del procedimiento de concesión de licencias.

### 1.5. Descripción del procedimiento

La descripción completa del procedimiento - conversión de la acroleína en XXX con la sustancia B - se presenta en la solicitud de licencia de fecha 15 de junio de 1979 de conformidad con la ley federal sobre control de la contaminación de la República Federal de Alemania.

#### 1.5.1. Descarga y almacenamiento de la acroleína (figuras 6.8 a 6.11)

La acroleína se suministra en vagones cisternas de ferrocarril y se descarga frente al edificio E 405. La presión de $N_2$ (aproximadamente 1 bar de superpresión) se utiliza para transvasar la acroleína de los vagones cisternas a los depósitos B 19, B 22 y B 23 en el G 404.

**Figura 6.9. Lista del equipo con datos del diseño (véase la figura 6.8) para el procedimiento núm. 6: conversión con acroleína**

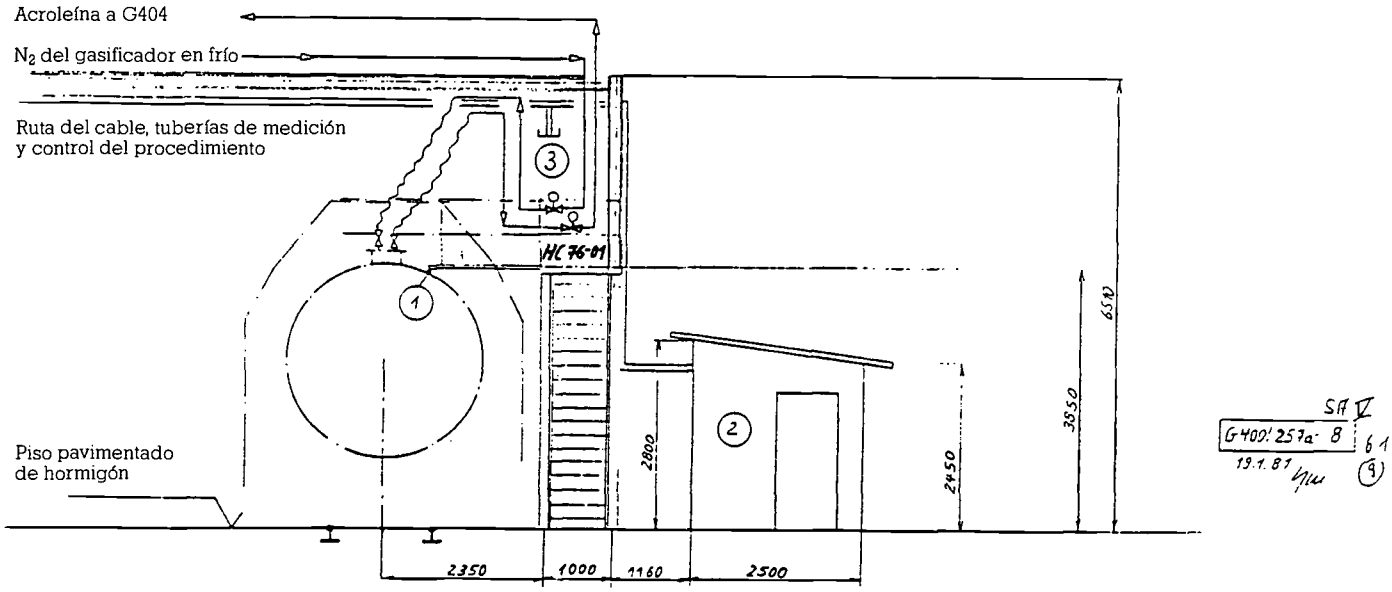
| Equipo | | | Datos del diseño | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Abreviatura | Número | Identificación | Tamaño | Temperatura (°C) | Sobrepresión $p_e$ (bar) |
| B 19 | 1 | Depósito de almacenamiento para acroleína | 35 m³ | 50 | 3 |
| B 22 | 1 | Depósito de almacenamiento para acroleína | 30 m³ | 50 | 4 |
| B 23 | 1 | Depósito de almacenamiento para acroleína | 28 m³ | 50 | 2 |
| P 23 | 2 | Bomba centrífuga | 3 m³ | 120 | 10 |
| B 19 A | 1 | Depósito intermedio para hidroquinona | 1 m³ | 50 | 6 |
| K 709 | 1 | Depuradora | 0.4 × 5 m | 50 | 0 |
| B 18 | 1 | Depósito de almacenamiento para XXX (crudo) | 33 m³ | 50 | 0 |
| B 33 | 1 | Depósito de almacenamiento para XXX (puro) | 90 m³ | 50 | 0 |
| B 57 | 1 | Depósito de almacenamiento para XXX (puro) | 50 m³ | 50 | 0 |
| B 70 | 1 | Depósito intermedio | 2 m³ | 200 | 2 |
| P 70 | 2 | Bomba | 1 m³ | 200 | 10 |
| B 71 | 1 | Separador | 2.5 m³ | 200 | 6 |
| P 71 | 2 | Bomba dosificadora | 2 m³ | 200 | 130 |
| R 72 | 1 | Depósito con agitador | 4 m³ | 200 | 6 |
| C 70 | 1 | Reactor | 1 m³ | 300 | 80 |
| K 710 | 1 | Eyector de columna | 0.6 × 10 m | 200 | 2 |
| K 720 | 1 | Columna de destilación | 0.8 × 24 m | 200 | 0 |
| B 725 | 1 | Cisterna colectora | 6 m³ | 200 | 2 |

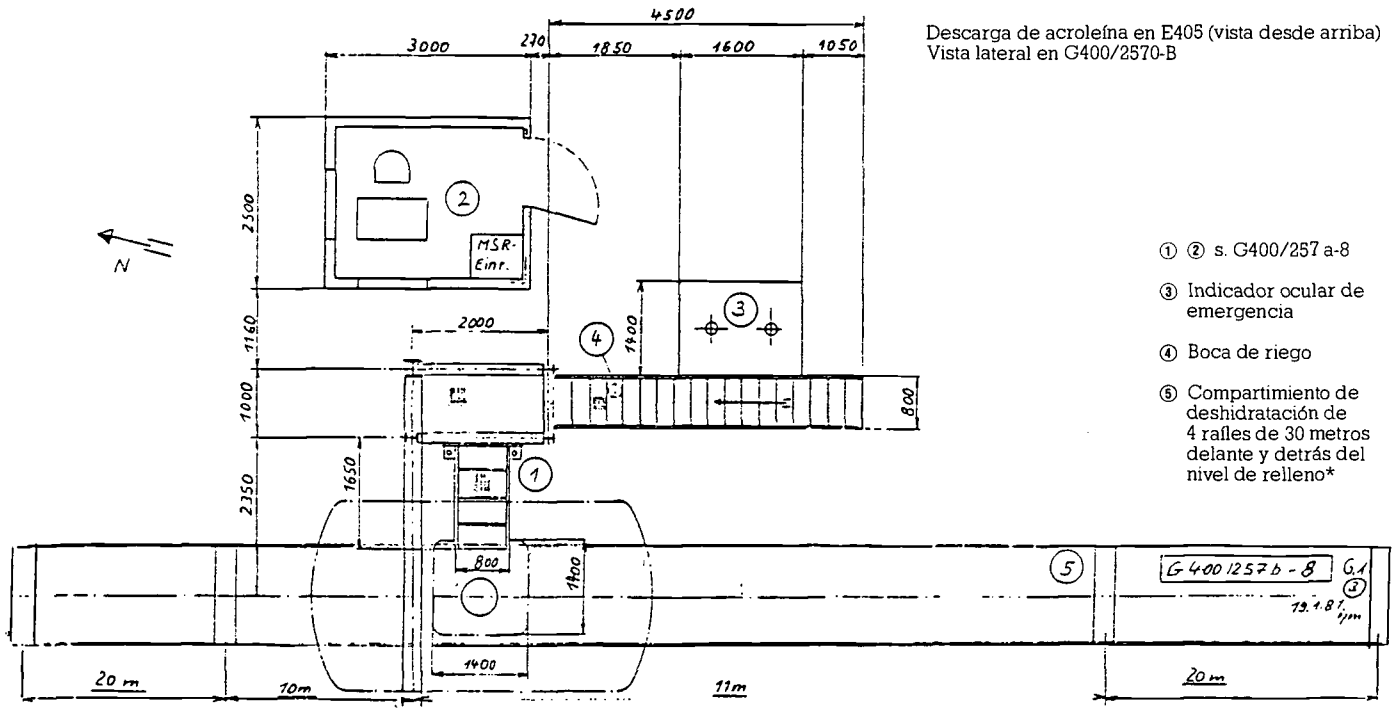
Descarga de la acroleína en E 405. Vista lateral
Vista desde arriba, véase G400/257 b-8

① Escaleras plegables, cuatro escalones con garfio de seguridad

② Sala de supervisión con sistemas de medición y control de los procedimientos

③ Dispositivo de suspensión de acroleína con manguera de $N_2$




Descarga de acroleína en E405 (vista desde arriba)
Vista lateral en G400/2570-B

① ② s. G400/257 a-8

③ Indicador ocular de emergencia

④ Boca de riego

⑤ Compartimiento de deshidratación de 4 rafles de 30 metros delante y detrás del nivel de relleno*

* (conectado al canal subterráneo b.b.A)

**Figura 6.10. Descarga de la acroleína frente al edificio E 405**

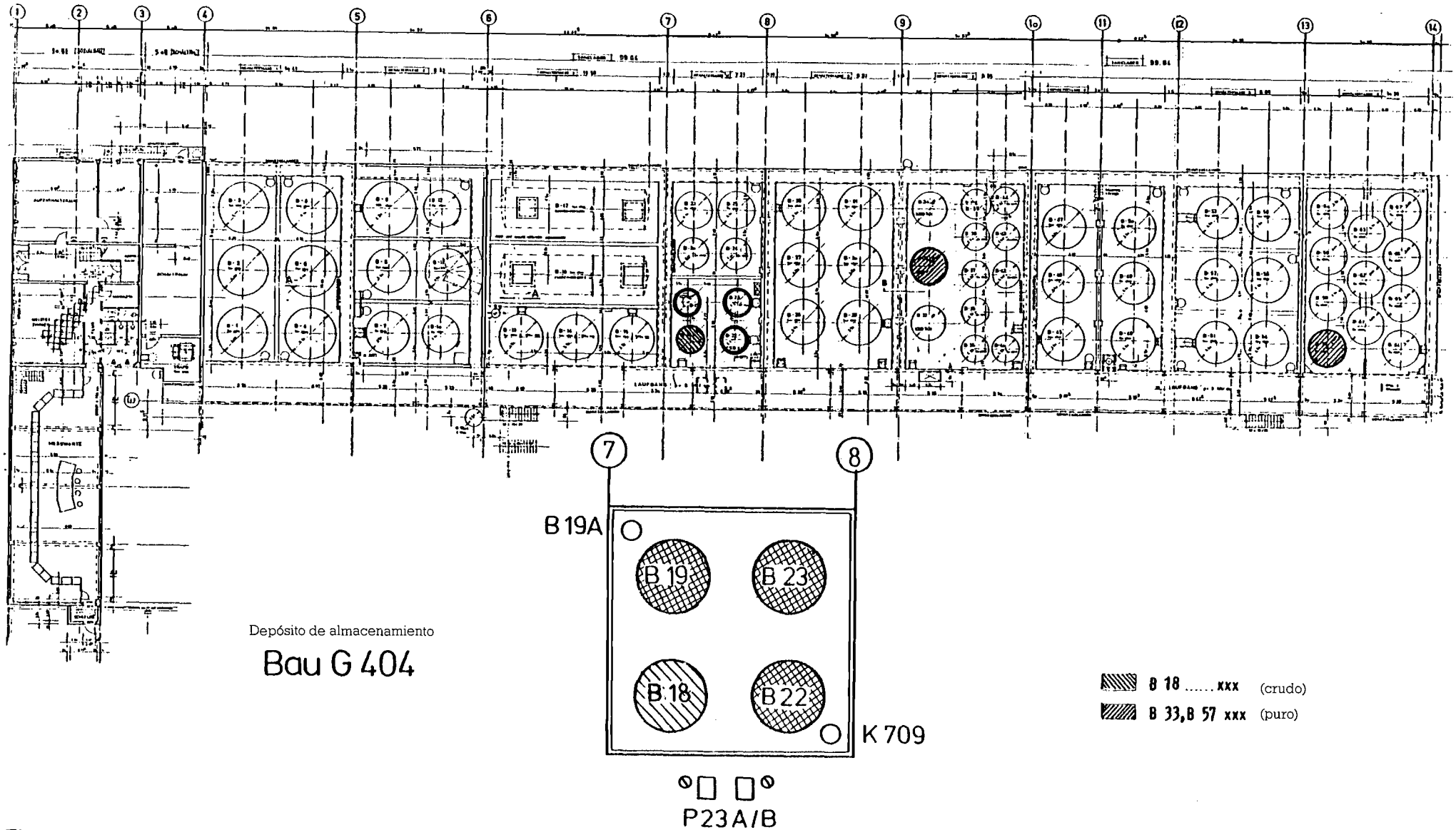



**Figura 6.11. Plano del tanque de almacenamiento, edificio G 404**

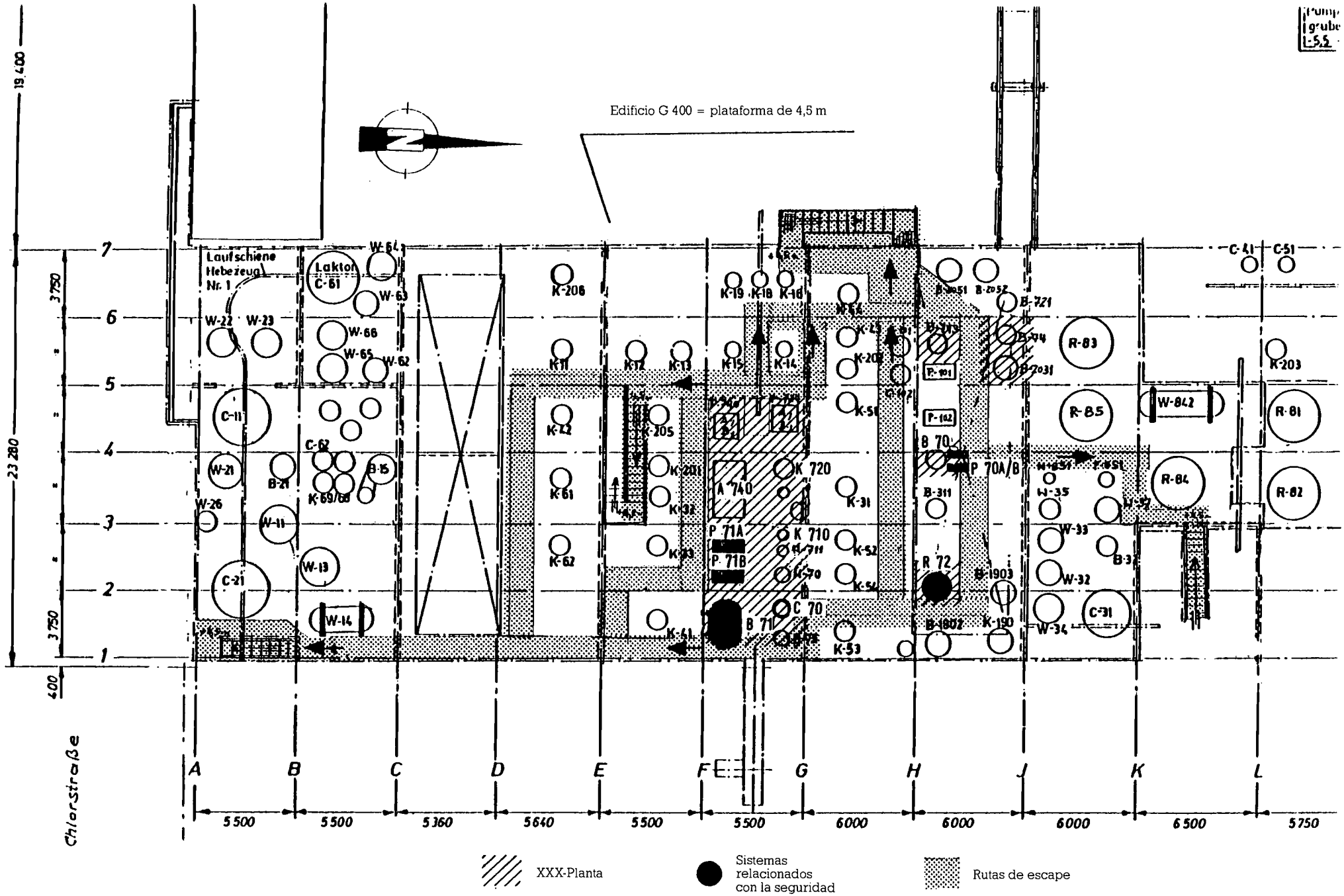



**Figura 6.12. Plano del edificio G 400, plataforma de 4,5 m (extractado de los dibujos de la construcción y de la colocación de los componentes)**

Se adoptan medidas de seguridad especiales para el almacenamiento de la acroleína en los depósitos B 19, B 22 y B 23 debido a que ésta tiende a la polimerización exotérmica a temperaturas superiores y en presencia de sustancias que provocan una reacción alcalina (véase la figura 6.13).

1. Cada depósito es descargado con nitrógeno (altamente purificado) para mantener alejadas las sustancias que provocan una reacción alcalina de la acroleína.
2. Cada depósito puede ser asperjado con agua, para refrigeración.
3. La acroleína está en constante circulación por medio de bombas. Si la temperatura en alguno de los depósitos excede de 30 °C, al circuito de la acroleína se le añade automáticamente desde el depósito B 19A metanol con cerca del 5 por ciento de hidroquinona, utilizando una superpresión del nitrógeno de 2 bar.
4. Se miden y registran la temperatura y el nivel del depósito. Ambas mediciones están conectadas con una alarma óptica y acústica.
5. Cada depósito está dotado de dos discos de ruptura de seguridad, instalados en serie en una tobera (la superpresión se fija en 1,1 y 1,9 bar). Si se produjera un aumento de la presión en el depósito, por ejemplo, como resultado de la polimerización de la acroleína, el estallido del primer disco de ruptura de seguridad pone automáticamente en marcha el sistema de aspersión de agua de la lavadora K 709 que está llena de anillos Raschig. Al estallar el segundo disco de ruptura, el vapor de acroleína que se produce en el depósito se transfiere a esta lavadora y reacciona allí. La lavadora y todo el resto del equipo de la planta del que puede escapar vapor de acroleína están conectados a un colector que conduce a la antorcha A 750.

### 1.5.2. Producción (figuras 6.8, 6.9 y 6.12)

El componente B de la reacción se suministra a través de la tubería y entra en el recipiente de mezcla B 71 a través del depósito intermedio B 70 y de la bomba B 70. La acroleína se transfiere también desde el depósito de almacenamiento G 404 a través de la tubería. En el recipiente de mezcla B 71 (sobrepresión aproximadamente de 4 bar, temperatura ambiente), una pequeña cantidad del agua presente en la acroleína se separa y se transfiere al depósito R 72.

Los productos de alimentación premezclados se transportan a través de la bomba dosificadora P 71 al reactor C 70, que funciona a temperatura de 100–200 °C y a una presión de 20–70 bar.

En el reactor C 70, la acroleína reacciona con el componente B para formar XXX. El producto de la reacción se transfiere por conducto de una válvula de control al purificador de columna no presurizado K 710, en el que sustancias sumamente volátiles (primordialmente productos de alimentación no convertidos) son separadas por destilación y transferidas a R 72.

El agua en R 72 contiene cerca de 1 por ciento de acroleína. Esto se descompone en una reacción exotérmica mediante la adición continua de sosa cáustica para formar productos de mayor peso molecular. El agua que se descarga en la red de desechos líquidos para tratamiento no contiene acroleína; contiene materias orgánicas que se pueden descomponer de forma biológica y no contiene ni metales ni halógenos.

El XXX, del que se han extraído la mayor parte de las fracciones muy volátiles en la columna K 710, se transporta al depósito B 18 en el tanque de almacenamiento G 404, donde se mantiene temporalmente. El XXX se transfiere luego de ese depósito a la columna K 720 para proceder a una nueva purificación.

En la columna K 720, XXX se destila en la parte superior y luego se acumula como XXX (puro) en los depósitos B 33 y B 57 del recipiente de almacenamiento G 404. Los productos colectados del K 720 se recogen en el B 725 y se descargan en la planta de incineración de residuos. Los residuos, que no contienen metales ni halógenos, se pueden incinerar sin ningún problema.

La sección de síntesis de la planta funciona y es supervisada desde la sala principal de control de la fábrica Deka. Los sistemas relacionados con otros procesos se manejan localmente.

Todos los gases de descarga desplazados de los depósitos de acroleína B 19, B 22, B 23 y de la planta de producción se queman en la antorcha A 750 (figuras 6.8 y 6.16).

### 1.5.3. Suministro de energía

Para su suministro de energía, la fábrica Deka está conectada con la red de BASF en lo que respecta a electricidad, agua de refrigeración, vapor, nitrógeno, aire comprimido y gas natural. No se requiere suministro de energía de emergencia (véase 4.1.2.4 y 4.1.2.5).

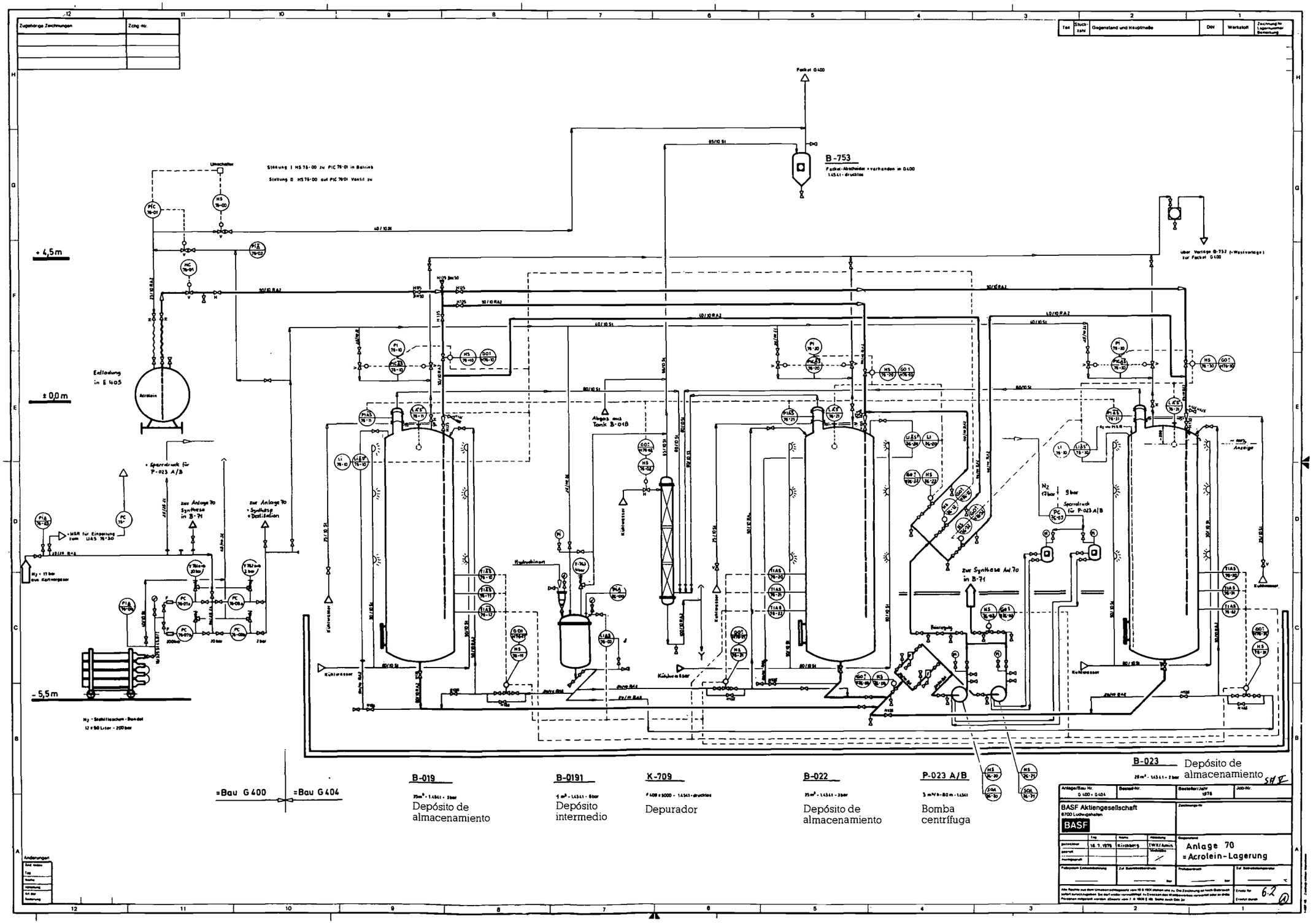



**Figura 6.13. Descarga y almacenamiento de la acroleína, suministro de $N_2$ (diagrama de circulación)**

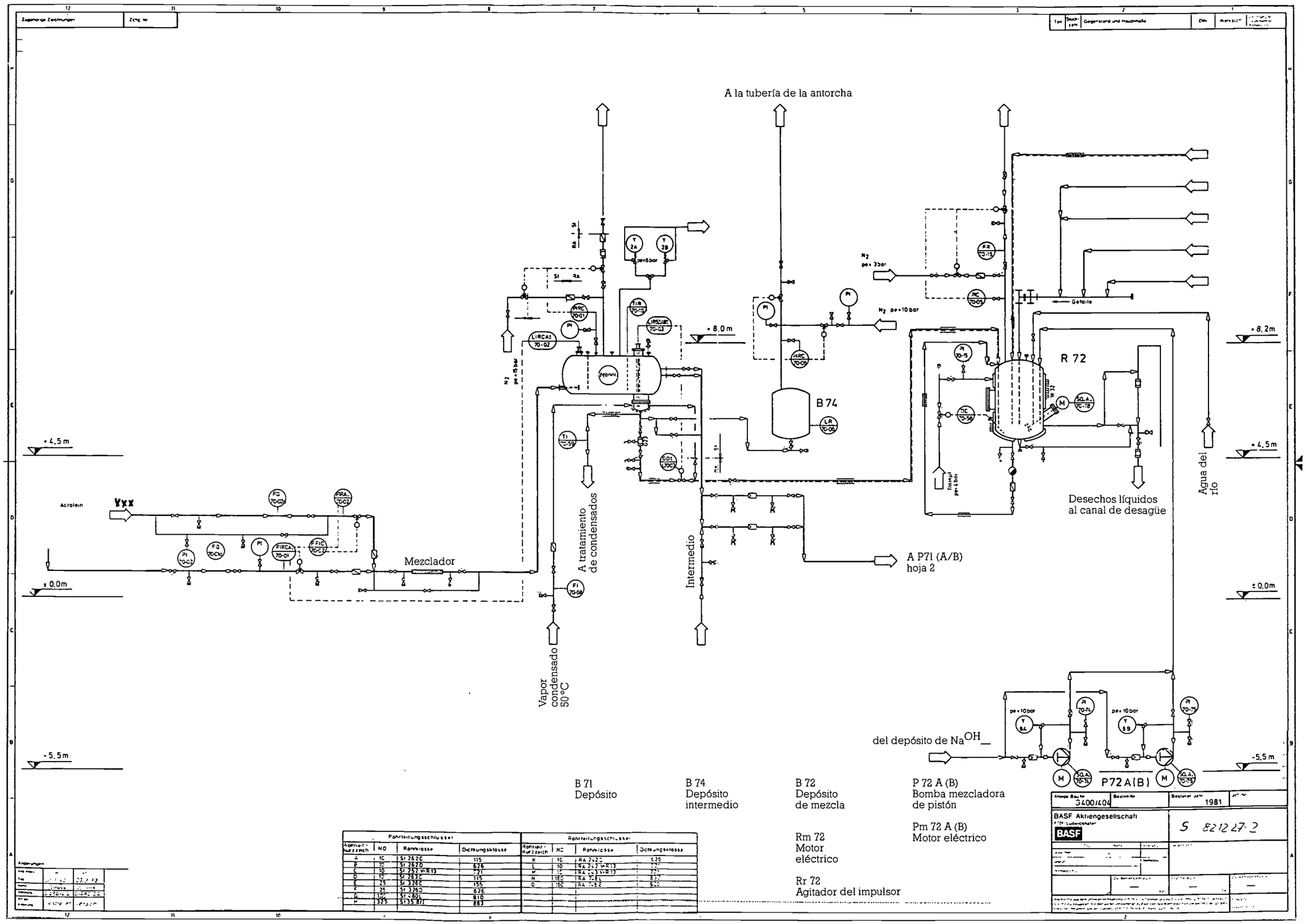



**Figura 6.14. Separador B 71 y tratamiento del desecho líquido R 72 (diagrama de circulación)**

Nitrógeno altamente purificado: para garantizar la pureza necesaria, se instala un sistema separado de suministro que es independiente de la red del nitrógeno, con el fin de proporcionar nitrógeno para hacer funcionar a los sistemas que contienen acroleína (véase la figura 6.13). Ese sistema consiste en un evaporador frío de nitrógeno y en un alimentador de emergencia a partir de una batería de bombonas de acero que contienen nitrógeno.

La iluminación de seguridad de la sala de control y de las rutas de escape se asegura con lámparas dotadas de pilas individuales.

## 2. Descripción de los sistemas relacionados con la seguridad, los riesgos y las condiciones previas para que ocurra un accidente

**(Artículo 7 (1) 2)**

### 2.1. Sistemas relacionados con la seguridad

Los sistemas relacionados con la seguridad se establecen después de efectuar un examen sistemático de los diagramas de circulación de toda la planta. En primer lugar, la planta se divide en unidades técnicas (sistemas) que: i) pueden funcionar con independencia, o ii) tienen suma importancia para la planta en general, o iii) son necesarias como sistemas auxiliares para el funcionamiento de la planta (por ejemplo, el sistema de refrigeración o el sistema de escape de gases).

Un sistema guarda relación con la seguridad si:

- las sustancias enumeradas en el apéndice II están presentes o pueden constituirse en cantidades de importancia para la seguridad;
- el sistema es necesario para un funcionamiento seguro de la planta debido a que impide los accidentes o limita sus consecuencias (sistemas de protección y otros sistemas requeridos para que la planta funcione con seguridad).

Los sistemas relacionados con la seguridad que se indican a continuación se establecen sobre la base de estas consideraciones (figuras 6.8, 6.10 a 6.12; diagramas de circulación, figuras 6.13 a 6.16).

#### 2.1.1. Descarga de la acroleína frente al edificio E 405 (figuras 6.10 y 6.13)

- Los vagones cisternas de ferrocarril que contienen 20 toneladas de acroleína son vagones cisternas normales con tubería de subida y sin desagüe del piso, diseñados con arreglo a la Ordenanza sobre el transporte por ferrocarril de materiales con riesgo de accidente, apéndice XI (4 bar), equipo de descarga con conexión de tubería flexible, válvulas manuales, tubería conectada a través del puente con el depósito de almacenamiento, edificio G 404.
- Descarga y transporte de la acroleína utilizando nitrógeno a una sobrepresión de 1 bar ($N_2$ altamente purificado procedente del gasificador en frío o de la batería de bombonas de nitrógeno comprimido), controlados por PIC 76-01. Sobrepresión máxima de la estación de reducción PC 76-08 a/b: 2 bar, protegida por válvula de seguridad Y 762 a/b. Además, el manejo se lleva a cabo de acuerdo con las instrucciones de funcionamiento y seguridad.

#### 2.1.2. Almacenamiento de la acroleína 3×20 t, edificio G 404 (figura 6.13)

- Depósitos de almacenamiento B 19, B 22 y B 23 con dispositivos y circuitos de seguridad de nivel, presión y temperatura:
  LIA±S+ 76-10, 20, 30; LA+S+ 76-11, 21, 31; PICA±S+ 76-10, 20, 30; PIA+S+ 76-11, 21, 31; TIA+S+ 76-10/11/12, -20/21/22, -30/31/32 (en cada caso 2 de cada 3).
- Bombas centrífugas P 23 A/B para el transporte y la circulación de la acroleína (véase 1.5.1 (3)) con doble obturador mecánico rotatorio y líquido obturador (metanol) a una sobrepresión de $N_2$ de 9 bar.
- Equipo de protección y seguridad:
  - depósito de hidroquinona B 19A (véase 1.5.1 (3)): está a una sobrepresión de $N_2$ de 2 bar y protegido por una válvula de seguridad Y 763 que se fija a 4 bar; otras alarmas y derivaciones, de acuerdo con PIA-76-00 y LIA-S-76-00, respectivamente;
  - lavadora K 709 (véanse 1.5.1 (5)): los desechos líquidos se colectan en el conducto de la cubeta;
  - sistema de dispersión de agua de los depósitos de almacenamiento (véase 1.5.1 (2));
  - déposito colector (cubeta del depósito): sus dimensiones se ajustan a TRbF 110 (puede guar-

dar el contenido de depósitos muy grandes); el líquido recogido sólo se puede transvasar por bombeo a los desechos líquidos que requieren tratamiento si la bomba del sumidero se ha puesto en marcha;
- sistema de alarma de presencia de gas en las bombas P 23 A/B;
- sensor remoto de gas Sieger en cada bomba, umbral de la alarma en el campo de variabilidad de ppm.

Otras medidas de inspección y seguridad se especifican en las instrucciones sobre funcionamiento y seguridad.

**2.1.3. Separador de agua B 71 y depósito R 72 con agitador (tratamiento de los desechos líquidos) (figura 6.14) descripción en 1.5.2**

- B 71 funciona a una superpresión de $N_2$ de 4 bar (PIRC 70-01) y está protegido por dos válvulas de seguridad fijadas a una superpresión de 6 bar. La descarga gaseosa del sistema de control de la presión y de las válvulas de seguridad se transfiere a la antorcha A 750 a través de un separador de líquido.
- R 72 funciona sin estar presurizado. Además, se aplican las instrucciones de funcionamiento y seguridad.

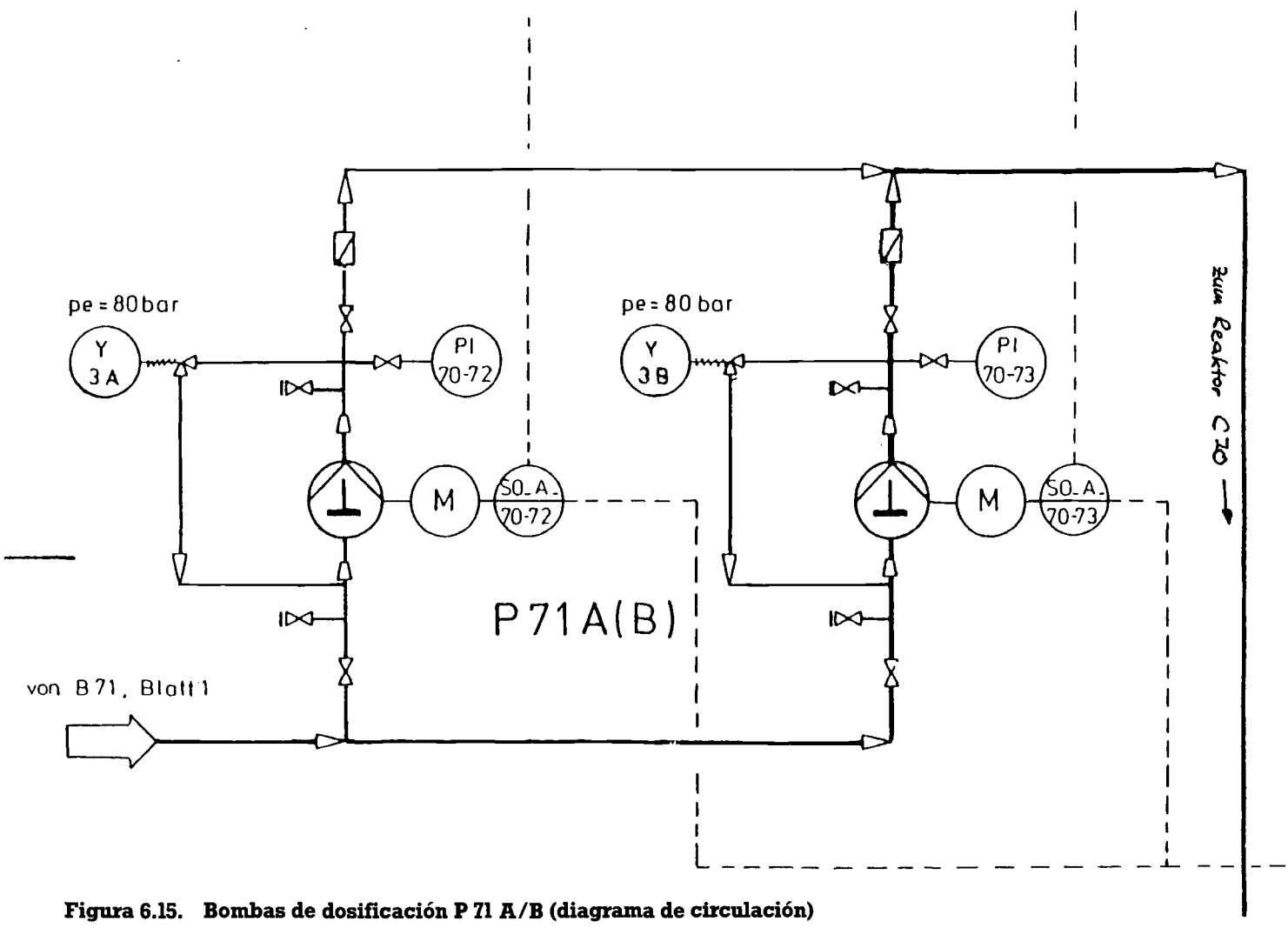



**Figura 6.15. Bombas de dosificación P 71 A/B (diagrama de circulación)**

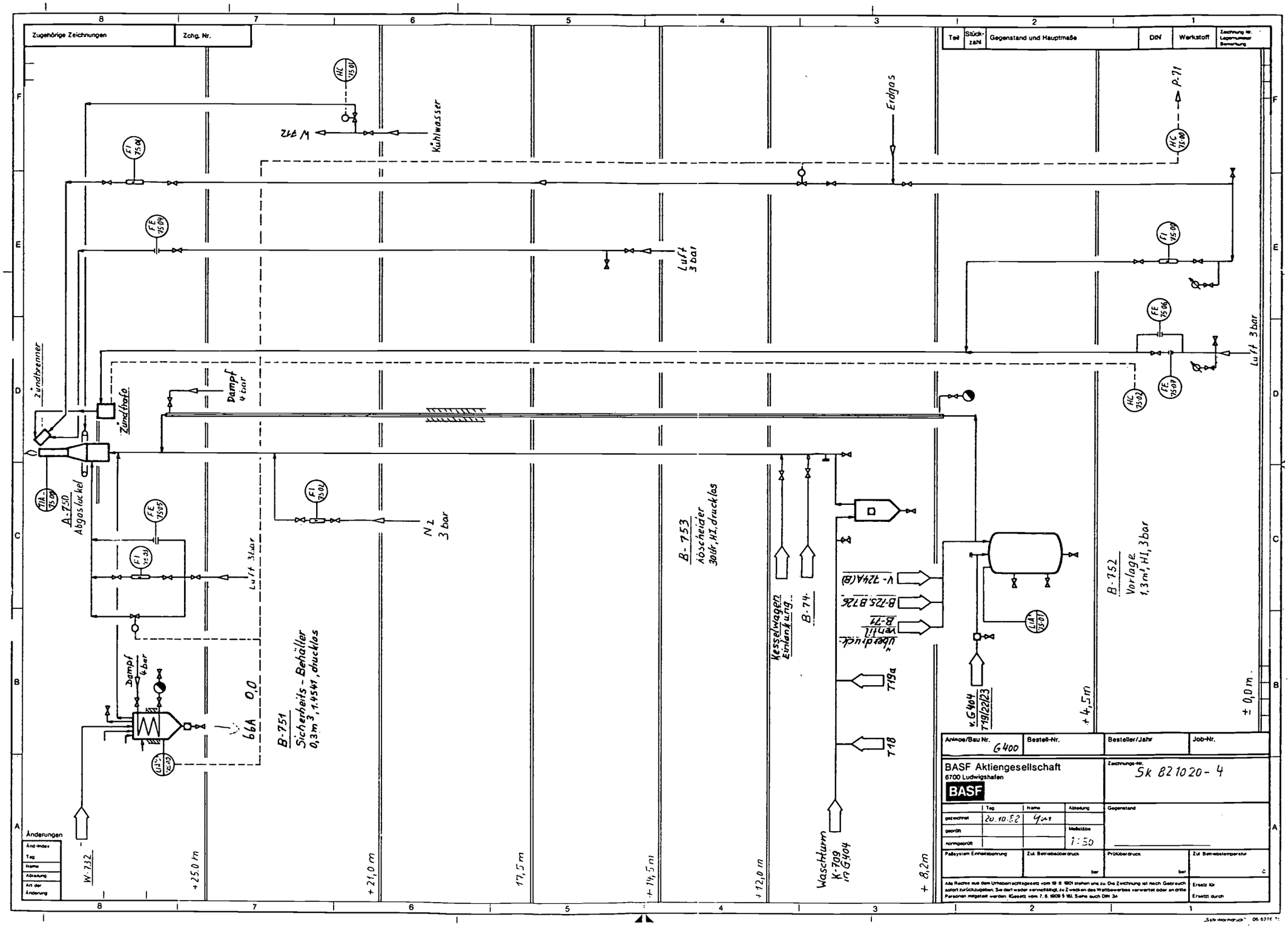



**Figura 6.16. Antorcha (A 750) (diagrama de circulación)**

**2.1.4. Bomba de inyección P 71 A/B, que se alimenta a partir de la superpresión en el reactor C 70 (figura 6.15), véase 1.5.2**

Verificar las válvulas de la tubería que conduce al reactor C 70; válvulas de seguridad como las válvulas de desbordamiento Y 3 A/B, superpresión de respuesta 80 bar.

**2.1.5. Antorcha para la descarga gaseosa A 750 (figura 6.16)**

Sistema recolector de la descarga gaseosa; sistema de seguridad TIA-75-00.

Además, la antorcha funciona y se inspecciona con regularidad de acuerdo con las instrucciones de funcionamiento y seguridad.

**2.1.6. Tuberías y válvulas**

Los materiales y la construcción de las tuberías, los obturadores y las válvulas deben conformarse a las especificaciones de los medios del proyecto[2].

La tubería de la estación de descarga de acroleína de E 405 a G 404 es de soldadura continua y está aislada. Las bridas están obturadas con obturadores especiales, de tipo Spiroflex. Todas las tuberías que transportan acroleína están diseñadas para una presión de régimen de por lo menos 10 bar.

El reactor C 70 y las columnas de más abajo no están relacionadas con la seguridad (véase la figura 6.8).

El reactor C 70 y las columnas de más abajo contienen un total máximo de 25 kg de acroleína con una concentración de <1 por ciento por volumen (establecida por medio de análisis). La reacción en el reactor C 70 es exotérmica. El contenido del reactor muestra una mezcla prácticamente ideal: la concentración de acroleína es, por tanto, la misma en todos los puntos del reactor. La reacción está controlada de manera que se realiza muy rápidamente. Por este motivo, la concentración de acroleína es inferior al 1 por ciento por volumen. Aunque la reacción en C 70 es exotérmica, no existe ningún acontecimiento concebible en el que podrían producirse temperaturas y presiones que resultaran inaceptables desde un punto de vista de la seguridad.

Incluso si se produce un fallo del enfriamiento del reactor (sin un fallo simultáneo de la bomba de inyección) no se crea una situación peligrosa: a una temperatura máxima de 250 °C, la bomba de inyección P 71 es cerrada por la alarma de «alta temperatura» y la reacción subsiguiente sólo ocasiona un ligero aumento de la temperatura y la presión. Sin embargo, este cierre no es una medida de seguridad en el sentido de prevención de un accidente: si no se efectúa el cierre y P 71 sigue alimentando (lo que no es deseable), con el aumento de la temperatura se forman productos de gran peso molecular. No obstante, su presión del vapor es tan baja, que no se produce ninguna nueva elevación de la presión. Los sólidos que se han formado en el reactor se deben eliminar de manera mecánica. El cierre no produce ninguna situación en que se podría poner en peligro la seguridad, sino situaciones que no son deseables desde el punto de vista operacional.

La retroalimentación desde el reactor C 70 a los sistemas anteriores como resultado de un reflujo del material se evita por medio de las válvulas de retención situadas entre P 71 A/B y C 70 y de las propias bombas de membrana P 71 A/B (véase la figura 6.15). De modo análogo, las columnas de más abajo contienen sólo cantidades muy ligeras de acroleína; en ellas no se produce tampoco ninguna reacción en absoluto.

**2.2. Riesgos y condiciones previas de un accidente**

Existe la posibilidad de que se produzca un accidente si se liberan grandes cantidades de acroleína. En principio, la acroleína se puede liberar como resultado de:

- un llenado excesivo de los depósitos de almacenamiento causado por errores de funcionamiento al manipular el equipo de descarga o por deficiencias de los sistemas del nivel de seguridad;
- daños causados al vagón cisterna de acroleína o a los depósitos de almacenamiento de acroleína, por escapes de éstos, debido a fallas de los sistemas de seguridad de la presión;
- ruptura de las conexiones de tubos flexibles del sistema de descarga;
- polimerización de la acroleína en los depósitos de almacenamiento de acroleína, debido a impurezas en el producto o a que los depósitos de acroleína se han llenado con otros productos;
- escape de las bombas centrífugas P 23 A/B;
- daños de B 71 o escapes debido a deficiencias del sistema de control de la presión;
- reacción exotérmica en R 72 debido a deficiencias del sistema del nivel de seguridad y errores de funcionamiento al descargar el agua;

- escape de las bombas de membrana P 71 A/B;
- fallo de la antorcha A 750 debido a errores de funcionamiento o a pérdida de suministro de gas natural.

Los escapes de la tuberías (4.1.1.6), el uso de materiales inadecuados (4.1.2.2), la toma de muestras (4.1.2.3), la pérdida de energía (4.1.2.4), los fallos de las máquinas (4.1.2.5), los riesgos de otras dependencias de la fábrica Deka (4.1.3), los riesgos de origen ambiental (4.1.4) y el sabotaje (4.1.5) se pueden descartar como riesgos que ocasionen un accidente grave.

## 3. Identificación química de las sustancias; estado y cantidad de sustancias de conformidad con el apéndice II

**(Artículo 7 (1) 3)**

Cantidad de acroleína manipulada:

*a)* depósito de almacenamiento: máximo 60 t;

*b)* B 71: aproximadamente 1 t;

*c)* vagón cisterna: 20 t.

Temperatura: temperatura ambiente.

Datos sobre los materiales: los datos toxicológicos y relacionados con la seguridad se pueden extraer de la figura 6.17. No se conocen reacciones parásitas relacionadas con la seguridad.

## 4. Descripción del cumplimiento de los requisitos impuestos en los artículos 3 a 6

**(Artículo 7 (1) 4)**

### 4.1. Medición de la prevención de accidentes

#### 4.1.1. Riesgos operativos especiales

4.1.1.1/2 *Descarga y almacenamiento de la acroleína (figura 6.13)*

Errores y fallos de funcionamiento del sistema de seguridad relacionado con el nivel (LIA±S+ 76-10, 20, 30 y LA+S+ 76-11, 21, 31) pueden causar un *rebosamiento de los depósitos de almacenamiento* B 19, 22 y 23.

En conjunto, los errores de funcionamiento se eliminan aplicando las instrucciones de funcionamiento relativas a la descarga de los vagones cisternas y almacena-

**Figura 6.17. Datos relacionados con el material y la reacción de acroleína (2-propenal, acrilaldehído)**

La acroleína es un líquido incoloro, muy reactivo y tóxico con un olor penetrante. Irritación de la piel, los ojos y las membranas mucosas. La inhalación causa quemaduras del aparato respiratorio y los pulmones, la ingesta oral produce irritación, vómitos y diarrea.

*a)* Datos generales sobre el material

| | |
|---|---|
| Fórmula | $CH_2 = CH - CHO$ |
| Peso molecular | 56,06 |
| Punto de fusión | -88 °C |
| Punto de ebullición a 1013 mbar | 53 °C |
| Presión del vapor a 20 °C | 286 mbar |
| Densidad a 20 °C | 0,84 g/cm$^3$ |
| Densidad relativa del vapor (aire = 1) | 1,94 |
| Solubilidad en el agua a 20 °C | 26,7 g/100 cm$^3$ |
| Soluble en muchos disolventes orgánicos | |

*b)* Datos sobre el material y la reacción relacionados con la seguridad

| | |
|---|---|
| Temperatura de inflamabilidad | -29 °C |
| Clase de peligro de accidente a VbF | AI |
| Temperatura de ignición | 280 °C |
| Temperatura de ignición (estabilizada) | 210 °C |
| Clase de temperatura | T3 |
| Límite de explosión en el aire | 2,8-31 vol. por ciento |

Estabilizada con hidroquinona (tendencia a la polimerización)
Reacción violenta con los álcalis y las sustancias oxidantes

*c)* Efectos sobre la salud

Toxicidad aguda:
ser humano: inhalación, LCLo = 153 ppm/10 min.;
animales: rata, oral, $LD_{50}$ = 46 mg/kg;
ratón, oral, $LD_{50}$ = 40 mg/kg
nivel de olor: 0,2-0,4 pm.

*d)* Concentración máxima en el lugar de trabajo 0,1 ppm ≙ 0,25 mg/m$^3$

Referencias:


C.W. Smith: «Acrolein», Hüthig Verlag, 1975.
Hommel: «Handbuch der gefährlichen Güter», Merkblatt 218.
Kühn-Birett: «Merkblätter gefährliche Arbeitsstoffe», No. A 09.
DEGUSSA: Merkblatt Acrolein.
NIOSH: «Registry of toxic effects of chemical substance», 1980.

miento de la acroleína. Sin embargo, si un llenado excesivo se convierte en una amenaza debido a errores de funcionamiento o a negligencia, el sistema de seguridad relacionado con el nivel da la alarma y cierra las válvulas de suministro HS 76-10, 20 y 30 (parada). Tanto la alarma como el cierre tienen apoyos redundantes ($LIA^{\pm}S^{+}$ y $LA^{\pm}S^{\pm}$). En consecuencia, siempre se dará una señal de alarma y siempre se efectuará el cierre, incluso cuando se produzca una deficiencia de un sistema de control de seguridad y de medición del proceso.

Estas medidas prácticamente previenen el llenado excesivo de los depósitos de almacenamiento de acroleína.

*Daños y escapes de los vagones cisternas*, como resultado de una presión interna excesivamente alta, se pueden originar sólo por el fallo simultáneo de la estación de reducción del nitrógeno PC 76-08 a/b, las válvulas de seguridad conexas y el sistema de control de la presión PIC 76-01.

*Daños y escapes de los depósitos de almacenamiento de acroleína*, como resultado de una presión interna excesivamente elevada, se pueden originar sólo por el fallo simultáneo de la estación de reducción de nitrógeno PC 76-08a/b, las válvulas de seguridad conexas y el sistema de seguridad de «alta presión» $PICA^{\pm}S^{+}$ sin que se produzca de modo simultáneo ruptura de alguno de los discos de seguridad. $PICA^{\pm}S^{+}$ cierra las válvulas esféricas en la tubería de suministro de acroleína HS 76-10, 20 y 30 y la válvula de suministro de nitrógeno a «alta presión» en la tubería de nitrógeno.

Estas medidas de seguridad prácticamente suprimen los escapes de los depósitos de almacenamiento de acroleína y de los vagones cisternas.

Las medidas siguientes previenen *la ruptura de la conexión de tubería flexible del equipo de descarga* y el escape de acroleína:

*a)* no existe tráfico de vehículos motorizados en la estación de descarga (véase el emplazamiento de la planta, figura 1);

*b)* los vagones cisternas de acroleína no se pueden trasladar por inadvertencia puesto que se utilizan calzas;

*c)* la única vía a la estación de descarga está bloqueada por un apartadero que se cierra en la dirección opuesta y una doble lámpara roja para impedir que se acerque ningún otro vagón de ferrocarril mientras se procede a la descarga;

*d)* la manguera del equipo de descarga se verifica siempre de forma visual para detectar si tiene defectos antes de utilizarla;

*e)* durante la descarga, el encargado supervisa el proceso constantemente. Si se producen escapes, se adoptan al instante las medidas siguientes: la acroleína se vacía de urgencia hacia la antorcha a través del sistema de vaciado de emergencia (HS 76-00 abierto) y la tubería de la acroleína se cierra (HC 76-01 cerrada).

El *llenado de los depósitos de acroleína con un producto diferente* puede provocar la polimerización de la acroleína, lo que a su vez puede causar la ruptura de los discos de seguridad (véase 1.5.1 (5)) y, por último, el paso de acroleína al depósito colector. Las medidas siguientes pueden casi con toda seguridad suprimir ese riesgo:

*a)* en la estación de descarga sólo se descargan vagones cisternas de acroleína. Como no se descarga ningún otro producto, los depósitos de acroleína no pueden llenarse con un producto diferente, incluso si el personal comete errores de funcionamiento (mezcla de las válvulas o acoplamientos de descarga);

*b)* antes de que se descargue el vagón cisterna de acroleína, se debe efectuar un análisis para confirmar que contiene acroleína de la pureza especificada;

*c)* los depósitos de almacenamiento de la acroleína están conectados únicamente por tuberías con la estación de descarga E 405 y la planta de acroleína. No existen en absoluto conexiones de tuberías que transporten gases o líquidos a otros sistemas operativos (con excepción de las tuberías de suministro de nitrógeno).

*Incluso unas ligeras impurezas en la acroleína* pueden provocar la polimerización. Este riesgo se evita debido a que se utiliza nitrógeno altamente purificado para expulsar la acroleína del vagón cisterna y cubrir el contenido del depósito. Este nitrógeno altamente purificado no se retira de la red de nitrógeno, sino que es suministrado por un gasificador en frío.

En caso de *pérdida del suministro de nitrógeno* del gasificador frío, se dispone de un alimentador de emergencia de nitrógeno altamente purificado a partir de una batería de bombonas de acero. Las reducciones de las

reservas de nitrógeno se señalan por medio de PIA-76-03 y 76-04 en la sala de control.

No es de prever que se produzca una *polimerización de la acroleína* en los depósitos de almacenamiento debido a las medidas técnicas y de organización que se aplican. Si, contrariando las previsiones, se produce no obstante una polimerización, en ese caso extremamente improbable se adoptarán las medidas siguientes.

El comienzo de la polimerización se detecta al inicio por un aumento de la temperatura. La temperatura siempre se mantiene por debajo de 20 °C con ayuda del sistema de aspersión de agua. Los sistemas de seguridad de la temperatura TIA+S+ 76-10/11/12, -20/21/22, -30/31/32 están diseñados de modo redundante (dos de tres) debido a su importancia. Esto prácticamente excluye la no detección de un aumento de la temperatura. Si dos de los tres puntos de medición detectan una temperatura superior a 30 °C, suena una alarma en la sala de control y el sistema de seguridad pone en marcha de forma automática las medidas siguientes:

*a)* se inyecta hidroquinona del depósito de hidroquinona B 19A en el circuito de la acroleína abriendo las válvulas respectivas HS 76-11, 21 y 31;

*b)* se cierra la válvula esférica HS 70-03. Esto detiene la afluencia del producto del depósito a la planta de producción;

*c)* se cierra la bomba P 71.

La polimerización de la acroleína es una reacción a través de radicales. La hidroquinona captura los radicales. Los radicales de la hidroquinona reaccionan con los radicales de la reacción de polimerización y, en consecuencia, detienen la reacción.

La cantidad de hidroquinona – disuelta en metanol – que se almacena en el depósito B 19A representa cerca de unos 40 kg. Esto equivale al 0,2 por ciento aproximadamente de la cantidad máxima de acroleína almacenada en un depósito (la cantidad de hidroquinona utilizada para la estabilización de monómeros existentes en el comercio es de unas 100 ppm).

Como primera aproximación, esta cantidad de hidroquinona de unos 40 kg podría reaccionar con la misma cantidad de un iniciador de radical (con el mismo peso molecular). No es concebible que esa cantidad pueda penetrar en un depósito de acroleína como impureza. Por consiguiente, esto garantiza que se pueda prevenir incluso el comienzo de la polimerización.

Sin embargo, se han previsto sistemas de protección adicionales: el depósito colector de acroleína, los chorros de agua que pueden también enfriar la parte exterior de los depósitos de almacenamiento y la lavadora K 709.

Se mide la presión entre los dos discos de seguridad conectados en serie del depósito de almacenamiento PIA+S+ 76-11, 21 y 31. Al romperse el primer disco, la válvula del agua HS 76-02 de la lavadora K 709 se abre de modo automático. Al romperse el segundo disco, la acroleína penetra en la lavadora. La lavadora se carga con cerca de 2,5 $m^3$/h de agua. Un cálculo aproximado muestra que, si la acroleína penetra en forma gaseosa, la lavadora puede condensar hasta 1 t/h, mientras que si la acroleína penetra en forma líquida, la lavadora puede desplazar hasta 3 t/min.

Una evaluación de las medidas proyectadas lleva a la conclusión de que el riesgo resultante de cualquier polimerización de la acroleína se puede eliminar partiendo de hipótesis realistas.

Los *escapes de acroleína desde las bombas centrífugas P 23 A/B* se evitan dotando a ambas bombas de dobles obturadores mecánicos giratorios (véase 2.1.2). Como protección adicional, se instala un dispositivo de detección de gas con dos telesensores de gas, directamente en las dos bombas (véase 2.1.2) (medida primordial de protección contra las explosiones de acuerdo con E 1.4.1 EX-RL).

4.1.1.3. *Separador de agua B 71 y depósito R 72 (figura 6.14)*

El *fallo del control de la presión PIRC 70-01* en el separador del agua B 71 puede provocar una superpresión peligrosa. Por ese motivo, el depósito está equipado con dos válvulas de seguridad (válvulas de cierre), lo que suprime ese riesgo.

*Reacción exotérmica acroleína – sosa cáustica en R 72.* La decantación del agua como la fase inferior en B 71 se descarga localmente a mano en el depósito mezclador R 72 para impedir una liberación innecesaria de acroleína. Al mismo tiempo, esa descarga se vigila en la sala de control por medio de LIRCA±70-02 y LIRS±A±70-03.El sistema de medición y control del nivel del proceso LIRS±A±70-03, que mide el nivel de la interfaz acroleína-agua y cierra la válvula 70-03 al nivel «bajo», se utiliza sólo para obtener una seguridad adicional.

Si se produjera un fallo de LIRS±A±70-03 y unos errores de funcionamiento simultáneos durante la descarga, grandes cantidades de acroleína podrían

penetrar en el depósito R 72 y provocar un aumento importante de la temperatura como resultado de la reacción exotérmica con la sosa cáustica presente en el depósito. Si esto sucede, el contenido del depósito se puede enfriar directamente y diluir por medio de una admisión adicional de agua. Un aumento de la presión no es posible, dado que R 72 tiene salida directa a la atmósfera.

Esto previene con eficacia una reacción peligrosa entre la acroleína y la sosa cáustica.

4.1.1.4. *Bomba de inyección P 71 A/B (figura 6.15)*

No es de prever *un riesgo como resultado de escapes* de esta bomba. Se trata de una bomba de membrana que no presenta ningún problema en la parte exterior derivado de la obturación de las partes móviles o giratorias.

La *superpresión con riesgo de accidente*, que podría formarse al cerrarse el lado de la carga de la bomba, se evita colocando una válvula de derrame entre el lado de la carga y el lado de succión (véase 2.1.4).

4.1.1.5. *Antorcha para la descarga de gases A 750 (figura 6.16)*

*El fallo de la antorcha* puede ser ocasionado por *errores operativos* o por *la pérdida del suministro de gas natural.* El fallo se detecta por una disminución de la temperatura en la boquilla de la antorcha y es señalado a la sala de control por TIA-75-00. Al producirse el fallo, toda la planta de acroleína se detiene de acuerdo con las instrucciones de funcionamiento y seguridad.

Hasta que la planta se haya parado completamente existe una emisión de acroleína no quemada a través de la antorcha deficiente. La cantidad emitida es baja: partiendo del supuesto de un 50 por ciento de saturación (la saturación posible desde el punto de vista termodinámico) de acroleína, se obtiene un valor aproximado de 0,3 kg/h de acroleína por un volumen aproximado de 1 $m^3$/h de descarga de gases de los sistemas de control de la presión y del nivel. El gas se separa de la antorcha a una altura de unos 28 m.

Por consiguiente, el fallo de la antorcha no representa ningún peligro.

4.1.1.6. *Tuberías y válvulas*

Es poco probable que se produzcan *escapes de las tuberías y válvulas,* dado que las tuberías están soldadas de forma continua, siempre que es posible, y las bridas están equipadas con obturadores especiales (de tipo Spiroflex). Los eventuales escapes constituyen, como máximo, ligeros inconvenientes que se pueden eliminar con rapidez. La detección y localización de los escapes se simplifica de modo considerable gracias al mal olor típico de la acroleína y al muy bajo nivel de olor. Cada hora se hacen visitas de inspección de la planta (4.3.1).

*La ruptura mecánica* de una tubería que transporta acroleína no se clasifica como un riesgo. Las tuberías están tendidas con la máxima protección. Además, el hecho de que las tuberías estén diseñadas para una presión de servicio de por lo menos 10 bar (que no se requiere para el proceso) garantiza que puedan soportar posibles cargas mecánicas exteriores.

Para evitar cualquier *error,* por ejemplo durante las reparaciones, las tuberías están marcadas a intervalos de aproximadamente 5 m.

### 4.1.2. Riesgos operativos generales

4.1.2.1. *Corrosión*

Todo el equipo y las tuberías de la planta que entran en contacto con el producto se fabrican de acero inoxidable (1,4541). Según el estado de los conocimientos (por ejemplo Ullmann), el acero inoxidable es completamente resistente a la acroleína. Esto se confirma en la planta existente, en la que no se ha detectado corrosión alguna durante un período de quince años.

4.1.2.2. *Empleo de materiales inadecuados*

La planta está diseñada y montada de acuerdo con las especificaciones de los medios del proyecto, que se aplican también a las reparaciones y alteraciones. Desde la entrada en servicio de la planta no ha habido ninguna indicación de que se haya utilizado un material distinto del especificado en cualquier punto como resultado de un error.

4.1.2.3. *Toma de muestras*

Antes de descargar el vagón cisterna de la acroleína, se llena primero un pequeño recipiente instalado en la tubería entre el vagón cisterna y el depósito de almacenamiento. A continuación, el operador toma a mano una muestra de este recipiente, que está aislado por medio de válvulas. Sólo se da comienzo a la operación de descarga después del análisis. Esto suprime prácticamente cualquier peligro en relación con el procedimiento de toma de muestra.

4.1.2.4. *Pérdida de energía*

Si se produjera una pérdida de vapor, agua de refrigeración, aire comprimido, gas natural o electricidad, la planta se detendría en aplicación de las instrucciones de funcionamiento y seguridad. Como ninguno de los circuitos relacionados con la seguridad se tiene que calentar ni enfriar, la pérdida de vapor o de agua de refrigeración no puede causar ningún peligro.

El calentamiento (TIC 70-58) en R 72 se utiliza sólo para calefacción a temperaturas exteriores muy bajas y para proteger a la planta contra la congelación durante su parada. La reacción en R 72 se efectúa a temperatura ambiente.

Sin embargo, la aspersión de los depósitos de acroleína también fallaría de producirse una pérdida de agua de refrigeración. Si el tiempo es cálido, a lo largo de un período de varios días se produciría un aumento muy lento de la temperatura en los dépositos de acroleína.

Ese aumento lento de la temperatura indicaría también, sin embargo, la ausencia de impurezas en la acroleína, es decir, que no existiría peligro alguno de polimerización. Se considera tan poco probable que se produzca simultáneamente una polimerización de la acroleína como resultado de impurezas y la pérdida de agua de congelación, que esta posibilidad se excluye. Nota: la acroleína sin ninguna impureza se transporta a los vagones cisterna de los ferrocarriles sin enfriamiento. Los sistemas redundantes de seguridad de la temperatura de los depósitos de acroleína (y las medidas de seguridad conexas) se adoptan para impedir cualquier polimerización desde el comienzo con un aumento rápido de la temperatura.

Si se produjera una pérdida de aire comprimido o de electricidad, los sistemas de medición y control del proceso, los circuitos eléctricos a prueba de fallos y la planta se pueden detener sin peligro alguno.

Si se corta el suministro de gas natural, se produce una ligera emisión de acroleína (véase 4.1.1.5). Se asegura el suministro de nitrógeno altamente purificado para cubrir todos los circuitos que contienen acroleína (véase 2.1.1, 4.1.1.1/2).

Por consiguiente, la pérdida de energía no produce ningún estado de funcionamiento peligroso. Por este motivo, la planta no está dotada de fuentes de energía independientes ni de un suministro de emergencia (salvo en lo que respecta al nitrógeno altamente purificado). La iluminación de seguridad se describe en 1.5.3.

4.1.2.5. *Fallos de las máquinas*

Si el suministro de energía se corta, todas las máquinas se paran. No se transporta ningún otro producto (P 23 A/B, P 71 A/B). El fallo de las bombas P 23 y P 71 no influye en la seguridad; tiene sólo importancia con respecto a la calidad del producto y al buen funcionamiento de la planta.

Al cerrarse P 23 A/B, la acroleína ya no circula en el almacén dé depósito. La hidroquinona no se puede mezclar. Se considera tan poco probable que se produzca simultáneamente una pérdida de energía y una demanda de hidroquinona en el depósito de hidroquinona B 19A debido a un aumento de la temperatura en el depósito de la acroleína, que no se adopta ninguna medida de seguridad adicional. (Una larga experiencia ha demostrado que el suministro de energía falla de media hora a dos horas cada pocos años; no ha sido necesario mezclar hidroquinona desde que se comenzó a almacenar acroleína en 1969.)

Si el agitador de R 72 falla, la reacción entre la acroleína y la sosa cáustica no se produce completamente. Habrá un olor desagradable debido a las trazas de acroleína.

4.1.2.6. *Protección contra los incendios y explosiones*

Todas las instalaciones de la fábrica Deka se ajustan a las medidas de protección primaria indicadas en E 1.3.1, E 1.3.2 y E 1.3.3 EX-RL.

En los emplazamientos con riesgo de accidentes (véase 1.1.2), las fuentes de ignición como las superficies calientes, las llamas y los gases calientes, las chispas producidas mecánicamente, las instalaciones eléctricas, las corrientes de compensación eléctricas, la electricidad estática y los relámpagos se previenen o se convierten en inocuos por medio de medidas de protección de conformidad con E 2 EX-RL (medidas de protección contra las explosiones secundarias).

Una explosión no puede producirse dentro del equipo y las tuberías debido a que todos los circuitos que contienen líquidos y vapores inflamables están cubiertos con nitrógeno (medidas de protección contra las explosiones primarias de conformidad con E 1.2.2 EX-RL). Todas las descargas gaseosas inflamables se transportan a la antorcha A 750, cuyas ignición y llama de combustión quedan fuera de emplazamientos peligrosos.

Todo trabajo realizado con una llama abierta debe ser aprobado por escrito de antemano.

Se observa con claridad que la planta puede soportar asimismo las cargas en caso de mal funcionamiento y que está adecuadamente equipada con sistemas de avisos, alarma y seguridad, así como con unos sistemas suficientes de medición y control de los procedimientos redundantes, con un diseño del equipo puesto a prueba. La planta esta diseñada de conformidad con las técnicas de seguridad más modernas; en particular se ajusta al reglamento para la prevención de accidentes, la especificación de los recipientes a presión, las especificaciones AD, las especificaciones TRbF, las normas DIN/VDE y la EX-RL de la Unión de Asociaciones Industriales de Indemnizaciones Mutuas.

La fiabilidad de cada sistema de medición y control del proceso instalado de modo individual se garantiza por medio de la experiencia sobre el funcionamiento pertinente y de pruebas especiales. Las condiciones anormales de funcionamiento se señalan óptica y acústicamente en la sala de control. Todas las funciones de medición y control relacionadas con la seguridad, por ejemplo el nivel, la presión y la temperatura en los depósitos de almacenamiento, están diseñadas de manera redundante.

### 4.1.3. Riesgos de accidentes de las demás dependencias operativas de la fábrica Deka

Las dependencias operativas adyacentes de la fábrica Deka contienen sustancias inflamables y tóxicas. En principio, los riesgos de la planta de acroleína son, por tanto, los siguientes: i) emisión de sustancias tóxicas, ii) incendio y iii) explosión. La emisión sin ignición no pone en peligro la planta de acroleína. El personal operativo cuenta con el equipo de protección necesario y puede parar la planta de acroleína en cualquier momento y sin ningún problema para la sala de control. Para prevenir los incendios y las explosiones, todo el equipo de la fábrica Deka se conforma a las directrices sobre protección contra las explosiones (véase 1.1.2). La planta de acroleína tiene las mismas normas de seguridad que las demás dependencias operativas. Todas las dependencias operativas se pueden parar en cualquier momento.

Se pueden combatir con eficacia los incendios que se produzcan en la proximidad directa de los depósitos de almacenamiento de acroleína y de la planta de acroleína (véase 4.2.2).

Otro riesgo es el escape de hidrógeno presurizado con encendido espontáneo de piezas del equipo situadas a una distancia de unos 30 m. La distancia es demasiado grande para que una llama de hidrógeno entre en contacto directo con componentes que contengan acroleína (de acuerdo con un cálculo de la longitud de una llama basado en la teoría de la vena fluida y dando por supuesto condiciones nada favorables). El efecto indirecto de una llama de hidrógeno como resultado de radiaciones es reducido, dado que no se pueden formar partículas de hollín. Además, la planta se puede detener en cualquier momento sin peligro alguno. Por consiguiente, este riesgo se puede descartar.

### 4.1.4. Riesgos de accidentes que tienen su origen en el medio ambiente

4.1.4.1. *Plantas adyacentes (véase el plano de un emplazamiento, figura 6.1 y la sección 1.1.1)*

La fábrica Deka está rodeada por dos lados – el sur y el oeste – de talleres, una piscina, la cantina y edificios de oficinas, así como plantas de almacenamiento y embalaje. Estas no representan ningún peligro para la fábrica.

Las plantas de producción están situadas al norte y al este. De estas plantas sólo cabe prever riesgos mínimos: las distancias son demasiado grandes. Lo indicado en el párrafo 4.1.3 es válido con respecto a la emisión de sustancias tóxicas. Los incendios y las explosiones se previenen en las plantas circundantes, como en la fábrica Deka (véase 4.1.2.6), por medio de estrictas medidas de protección contra las explosiones de conformidad con EX-RL. La fábrica Deka y las fábricas circundantes tienen el mismo nivel de seguridad.

La fábrica X presenta un riesgo específico, a saber, la emisión de gases inflamables. La fábrica X está sometida a la Ordenanza sobre el control de los riesgos de accidentes mayores de la República Federal de Alemania. La medida más importante en este caso es la rápida eliminación de todas las fuentes de ignición (extinción de la antorcha, cancelación de cualquier permiso que se pueda conceder para trabajar con llama abierta, véase 4.1.2.6).

Si las plantas adyacentes ponen en peligro la fábrica Deka, ésta es alertada por intermedio de la alarma del bloque. Dicha alarma y las medidas que se han de adoptar se examinan en 4.2.3.

4.1.4.2. *Tráfico*

La distancia hasta el Rin es de unos 800 metros; la distancia a una carretera pública de unos 250 metros. La situación en el emplazamiento de la fábrica se pone de relieve en el plano (figura 6.1) y sección 1.1.1. La única carretera de la fábrica (de este a oeste) en las cercanías de la fábrica Deka que está abierta al tráfico cuenta con una zona de seguridad de 10 metros de ancho. Además, el edificio de la fábrica Deka que alberga las oficinas y la sala de control separa a la planta de acroleína de la carretera. La distancia de la carretera a la planta de acroleína es aproximadamente de 30 metros. Las normas de tráfico en las carreteras de la fábrica son las siguientes: 30 km/h. La planta no está cerca de ningún aeródromo ni aeropuerto.

Los riesgos ocasionados por el tráfico se pueden, por consiguiente, excluir.

4.1.4.3. *Riesgos naturales de accidentes*

La planta está situada en una zona con escasa actividad sísmica (DIN 4149 zona sísmica 1). De acuerdo con las normas de edificación, la estabilidad está garantizada por la construcción correspondiente de los cimientos y por el diseño.

No es de prever ningún peligro resultante de inundaciones ya que la planta está situada por encima del nivel de la crecida máxima que se ha establecido sobre la base de observaciones efectuadas durante muchos años.

### 4.1.5. Sabotaje

La planta está situada en un emplazamiento rodeado de una valla y su acceso sólo se permite a personas autorizadas. La planta está iluminada por la noche y es vigilada por guardianes que hacen visitas de inspección todas las horas. Cualquier persona no empleada en la planta debe registrarse antes de entrar en ésta (sistema de tarjetas de registro). Esto excluye de manera satisfactoria las posibilidades de sabotaje.

## 4.2. Medidas para limitar las consecuencias de los accidentes

### 4.2.1. Cimientos y estructuras de soporte

Los cimientos y las estructuras de soporte se diseñaron y construyeron de acuerdo con las reglamentaciones de edificación. Su estabilidad, que se examinó en el marco del permiso de construcción y del permiso otorgado de acuerdo con la ley federal sobre control de la contaminación de la República Federal de Alemania, es adecuada para las cargas previstas.

### 4.2.2. Medidas de protección y sistemas de seguridad

El depósito colector de los recipientes de almacenamiento de la acroleína se planificó y construyó de conformidad con TRbF 110 (véase 2.1.2).

El sistema de aspersión de agua de los depósitos de almacenamiento sirve principalmente para enfriar el contenido de los depósitos.

Aunque los cuatro chorros de agua fijos se utilizan también para la refrigeración, están destinados en principio a luchar contra los incendios y a precipitar los gases y los vapores. Están colocados de manera (véase el plano del emplazamiento, figura 6.1) que el almacén de los depósitos de acroleína en particular puede ser alcanzado con facilidad por los chorros de agua desde todos los lados. Si se produjera un incendio en las cercanías inmediatas de los depósitos de acroleína, éstos se pueden enfriar con eficacia. Para determinar las dimensiones de los chorros de agua y de la bomba reforzadora conexa se ha tomado en cuenta la experiencia pertinente, acumulada por la brigada de bomberos de la planta.

Los dos dispositivos de aviso de presencia de gas en las bombas P 23 A/B permiten la rápida detección de escapes (véase 2.1.2 y 4.1.1.1/2).

Se dispone del número de extintores de incendios especificado por la brigada de bomberos de la planta.

Cuando se trabaja en condiciones difíciles, se utilizan emisores y/o receptores portátiles para asegurar la comunicación entre la planta y la sala de control.

De acuerdo con las instrucciones de funcionamiento y seguridad, se dispone de una cantidad suficiente del equipo de protección necesario para el personal operativo. La sala de control está dotada de conexiones de aire puro y con las máscaras de protección necesarias. Se cuenta con un número suficiente de duchas para situaciones de urgencia y de conexiones de aire puro. El plan de emergencia para los incidentes, que incluyen los incendios y las emisiones de acroleína, forma parte de las instrucciones de funcionamiento y seguridad.

Los equipos del departamento médico y de la brigada de bomberos de la planta están en servicio permanente. La planta es fácilmente accesible a las fuerzas de emergencia y a la brigada de bomberos (véase 1.1.3).

La brigada de bomberos de la planta puede ser alertada por teléfono. El parque de bomberos del sur está aproximadamente a 1 km de distancia. Transcurrirán tres minutos entre el sonido de la alarma y la llegada de la brigada de bomberos. Con la asistencia del personal de la planta, adoptará inmediatamente medidas para luchar contra el accidente y evitar el peligro.

### 4.2.3. Planes de emergencia

4.2.3.1. *Emergencias iniciadas por acontecimientos producidos en la fábrica Deka*

El personal operativo y, en caso necesario, la brigada de bomberos de la planta se ponen en estado de alerta en aplicación del plan de emergencia de la fábrica Deka. Este hace una diferencia entre:

— emergencias operativas:
causa: escape ligero a mediano en las bombas, tuberías o válvulas, que se puede probablemente corregir con rapidez y no constituye un riesgo para las plantas vecinas;

— emergencia en pequeña escala:
causa: descarga de producto de mediano tamaño, que no puede eliminarse inmediatamente y que puede poner en peligro las plantas circundantes;

— emergencia en gran escala:
causa: descarga grande de producto que pone directamente en peligro las plantas circundantes.

Medidas

La brigada de bomberos es responsable de alertar al personal y de prohibir la entrada en la zona circundante, en particular los talleres, la piscina y la cantina. El personal operativo sigue las instrucciones especificadas en las instrucciones de funcionamiento y seguridad.

Según el plan de emergencia Deka, todos los empleados deben seguir las instrucciones generales indicadas a continuación:

— cerrar todas las puertas y ventanas, desconectar los ventiladores. Eliminar todas las fuentes de ignición (cigarrillos, equipo eléctrico, trabajos de soldadura y trabajo con llama abierta);

— salir de los sótanos y de las habitaciones situadas en los pisos inferiores;

— seguir las instrucciones de la brigada de bomberos;

— abandonar el edificio si los ojos empiezan a llorar. Utilizar las rutas de escape;

— no utilizar los ascensores;

— dirigirse a los puntos de reunión conocidos.

4.2.3.2. *Emergencias iniciadas por acontecimientos en las plantas circundantes*

La alarma del bloque F 400/G 400 es válida en este caso; la fábrica Deka se pone en estado de alerta:

— por el altavoz de la planta circundante;

— por el teleimpresor del sistema de alarma central BASF.

Medidas en cumplimiento del plan de emergencia:

— levantamiento de obstrucciones en la carretera por el personal hasta la llegada del personal de seguridad de la planta;

— en la fábrica Deka:
  — extinción de la antorcha A 750 en el edificio G 400;
  — prohibición de fumar en cualquier recinto;
  — cancelación de cualquier permiso para trabajar con una llama abierta;
  — cierre de ventanas y puertas, desconexión de los sistemas de ventilación y aire acondicionado para prevenir la entrada de gases peligrosos;
  — abandono de los cuartos de los pisos inferiores;
  — no utilización de los ascensores;
  — en general, apartarse de las ventanas de cristales. No observar nunca un incendio o un escape de gas desde detrás de los cristales de una ventana;
  — permanecer en los propios lugares de trabajo con excepción de las personas (por ejemplo en el laboratorio y las oficinas) que trabajan directamente detrás de ventanas;
  — esperar para ver si se da la alarma en su edificio;
  — cuando la brigada de bomberos ordena el traslado a los puntos de reunión conocidos, utilizar las rutas de escape.

Los planes de emergencia se han acordado con las autoridades competentes.

### 4.2.4. Responsabilidad

La dirección de la División de Protección del Medio Ambiente y Salud y Seguridad en el Trabajo es respon-

sable de atenuar las consecuencias de un accidente. Se puede establecer contacto con la Dirección en todo momento por conducto de la brigada de bomberos de la planta, que está siempre en servicio.

### 4.3. Medidas complementarias

#### 4.3.1. Actividades de vigilancia, mantenimiento y reparación

La planta está sometida a una vigilancia permanente en forma de inspecciones y verificaciones en la sala de control y localmente por medio de visitas de inspección efectuadas cada hora por toda la planta para comprobar si las condiciones de trabajo son normales. Los sistemas eléctricos, de medición y control relacionados con la seguridad se verifican con regularidad de acuerdo con el plan de mantenimiento e inspección. El equipo, las máquinas, las tuberías y las válvulas se revisan y se reparan cada vez que sea necesario y al pararse la planta. Los recipientes a presión son inspeccionados con regularidad, conforme con las especificaciones relativas a los recipientes a presión.

El trabajo necesario de mantenimiento y reparación lo llevan a cabo especialistas bien calificados de conformidad con las especificaciones y las normas técnicas pertinentes de observación más modernas.

#### 4.3.2. Formación del personal e instrucciones de funcionamiento y seguridad

De acuerdo con las directrices de seguridad de la BASF, el personal operativo debe recibir instrucciones sobre el contenido de todas las instrucciones de funcionamiento y seguridad por lo menos una vez al año. Esa capacitación e información se basa en las instrucciones de funcionamiento y seguridad. La instrucción en el servicio, que presta especial consideración a las consecuencias de un comportamiento incorrecto, puede ser esencial para prevenir posibles errores de funcionamiento. Los sistemas existentes de medición de los procesos y control de la seguridad impiden las consecuencias de cualquier error de funcionamiento que pueda producirse.

#### 4.3.3. Documentación

La inspección del equipo eléctrico, de medición y de control se documenta en una hoja especial de inspección. Las verificaciones regulares de la planta desde la sala de control se anotan en el libro de registro sobre el funcionamiento de la planta y las visitas de inspeccion de locales que se efectúan cada hora se inscriben en un libro de registro especial.

## 5. Consecuencias de los accidentes

**(Artículo 7 (1) 5)**

Los sistemas de seguridad instalados en la planta, que se han descrito a lo largo de este informe, permiten llegar a la conclusión de que las perturbaciones de la secuencia de las maniobras se pueden controlar y que no es de prever ningún accidente. Esto lo confirma la experiencia que se ha adquirido con la manipulación de acroleína en la fábrica Deka desde 1969.

Como resultado de las medidas de seguridad, no es de prever ningún incendio de la acroleína. Sin embargo, si se produce un incendio, se adoptarán las medidas descritas en 4.2 para limitar sus consecuencias. Además, éste es un incendio normal de un líquido con un punto de ebullición relativamente bajo. No es de prever ningún peligro ni irritación importante debido a la fuerte ascendencia térmica. Hasta la fecha no se ha producido ningún incendio de acroleína ni en la planta ni en el almacén de depósito.

Escapes de pequeñas cantidades de acroleína en el pasado han causado molestias a los empleados debido al olor muy intenso del producto y a su tendencia a provocar irritación lacrimógena. Este efecto, sin embargo, se limita a una zona circundante de unos 10 a 20 metros y no puede considerarse como un riesgo importante. El umbral de estímulo muy bajo del producto actúa como un sistema de alerta integrado. Esto permite que se tenga conciencia del peligro y evita una repercusión no percibida.

Los escapes en las bridas, bombas, etc., son detectados por consiguiente con gran rapidez durante las visitas de inspección y siempre se limitan a pequeñas cantidades.

No obstante, si se supone que puede producirse un escape importante de aproximadamente 1 l/h (de 1 a 5 gotas por segundo), la zona afectada es de 18 metros en las condiciones siguientes: evaporación inmediata, condiciones de dispersión pésimas de acuerdo con la especificación de control de la contaminación del aire (dispersión de categoría 1), concentración limite de los efectos 2 ppm.

Existe un amplio acuerdo con los valores mencionados derivados de la experiencia.

A pesar de la aplicación de las medidas descritas en el párrafo 4.1.1.1/2, la manguera de carga podría romperse mientras se está llenando la acroleína en los depósitos. Cerca de unos cinco litros, es decir, el contenido de la manguera y de la tubería que llega hasta el punto más alto (véase la figura 6.10) se liberan de forma espontánea y se evaporan 1,7 kilos en cinco minutos. De darse las condiciones indicadas, la zona afectada sería de 250 metros.

Incluso el escape de acroleína en la cubeta del depósito, que no es realista dar por supuesto, no afectaría a una zona más amplia que la ruptura de la manguera de carga. Esto se debe a que el escape de acroleína se diluye en unos pocos segundos con agua procedente de los chorros de agua que se envían sobre la cubeta y siempre está lista para el funcionamiento, reduciendo de ese modo drásticamente la presión del vapor. Cuando se compara con la ruptura de la manguera de carga, la mayor superficie de evaporación de la cubeta queda compensada con una presión del vapor efectiva baja, lo que produce de forma aproximada los mismos índices de evaporación y zonas afectadas.

Se han tomado precauciones contra todos estos acontecimientos: la brigada de bomberos se pone en estado de alerta de acuerdo con los planes, y cualquier planta que pueda resultar afectada es avisada de conformidad con el plan de emergencia. La brigada de bomberos aplica las medidas de emergencia *in situ* cinco minutos más tarde como máximo (confirmado por numerosos ejercicios). El punto de escape es inundado de agua y/o cubierto de espuma. Esto reduce drásticamente las cantidades descargadas en la atmósfera (por lo menos en un factor de 10). De ser necesario, se utilizan cortinas de agua.

Las zonas afectadas se han establecido sobre una base puramente teórica y son estimaciones máximas: en cada caso de escape, la concentración de contaminante aumenta con lentitud a lo largo de minutos y se reduce en pocos minutos gracias a las medidas adoptadas. Raras veces se produce la peor situación de dispersión y, como ha mostrado nuestra experiencia, no se puede producir en absoluto en la fábrica debido a las condiciones atmosféricas específicas (dirección y velocidad del viento, ascendencia térmica en las fuentes) y topográficas.

Por consiguiente, cabe suponer que, incluso si se libera una gran cantidad de acroleína de modo inesperado, las medidas de emergencia *in situ* y el estado de alerta permanente de la brigada de bomberos de la planta limitarían la perturbación a la propia planta, excluyendo de ese modo cualquier efecto en la zona circundante.

La fábrica Deka está situada dentro de un gran complejo industrial. Existe un plan de emergencia de fuera del emplazamiento con respecto a todos los peligros que podrían en principio originarse en la planta. Este plan lo elaboraron las autoridades competentes, con la cooperación de la dirección de la planta, y está interrelacionado con los planes de emergencia del emplazamiento de la planta. Si existe algún peligro derivado de la dispersión de una nube de contaminantes, se han elaborado de antemano todos los planes de emergencia del municipio y todas las medidas que han de adoptar las fuerzas de emergencia de fuera del emplazamiento. Las precauciones que debería adoptar la población de darse la alarma, y que la población conoce por medio de circulares y artículos publicados en los periódicos, son siempre las mismas con independencia del contaminante de que se trate. No se requiere ninguna otra medida. En principio, el plan de emergencia municipal de fuera del emplazamiento abarca cualquier peligro que tenga su origen en la fábrica Deka.

**Notas**

[1] Registro de la clasificación de las explosiones, es decir, establecimiento de los emplazamientos peligrosos.

[2] Las especificaciones de los medios del proyecto contienen especificaciones relativas a los materiales y a la construcción de tuberías, obturadores y válvulas para todos los medios (sustancias) del proyecto, es decir, presentes en la planta, tales como la función de la presión, la temperatura y el diámetro nominal.

[3] Las hojas de datos técnicos se utilizan para las descripciones técnicas en las investigaciones y pedidos de equipo, depósitos, bombas, etc. Contienen los datos del diseño, así como los datos necesarios relativos a los materiales, dimensiones y tipos.

**Apéndice 7**

# Ejemplo de formulario para comunicar accidentes

(extraído del anexo VI de la Directiva de la CE 82/501 CEE)

**Información que han de suministrar los Estados Miembros a la Comisión en aplicación del artículo 11**

**Informe de accidente mayor**

Estado Miembro:

Autoridad responsable del informe:

Dirección:

1. Datos generales
   Fecha y hora del accidente importante:
   País, región administrativa, etc.:
   Dirección:
   Tipo de actividad industrial:

2. Tipo de accidente grave

   Explosión ☐ Incendio ☐ Emisión de sustancias peligrosas ☐

   Sustancia(s) emitida(s):

3. Descripción de las circunstancias del accidente

4. Medidas de emergencia tomadas

5. Causa(s) del accidente importante

   Conocida (especifíquese): ☐

   No conocida: ☐

   Se suministrará información lo antes posible ☐

6. Naturaleza y extensión de los daños

   a) **Dentro del establecimiento**

   — víctimas ..... muertos

   ..... lesionados

   ..... envenenados

   .....

   — personas expuestas al accidente importante .....

   — daños materiales ☐

   — el peligro sigue existiendo ☐

   — el peligro ya no existe ☐

b) **Fuera del establecimiento**

— víctimas ..... muertos

..... lesionados

..... envenenados

— personas expuestas al accidente mayor .....

— daños materiales ☐

— daños en el medio ambiente ☐

— el peligro sigue existiendo ☐

— el peligro ya no existe ☐

7. Medidas en mediano y largo plazo, particularmente las destinadas a prevenir que vuelva a producirse un incidente mayor similar (se habrán de presentar a medida que se disponga de la información).

## Anexo VII

### Declaración con referencia al artículo 8

*Los Estados Miembros* se consultarán mutuamente en el marco de sus relaciones bilaterales acerca de las medidas requeridas para evitar accidentes mayores que tengan su origen en una actividad industrial notificada en el sentido del artículo 5 y para limitar las consecuencias para los seres humanos y el medio ambiente. En el caso de nuevas instalaciones, esta consulta se efectuará dentro de los plazos establecidos en el párrafo 2 del artículo 5.

Apéndice 8

# Uso de la tierra cerca de fábricas que entrañen riesgos de accidentes mayores

1. En general se considera prudente tratar de separar las fábricas que almacenan y utilizan cantidades importantes de materiales con riesgos de accidentes mayores respecto de los centros cercanos de población, incluidas las zonas residenciales, los centros comerciales, las escuelas, los hospitales, etc.

2. Los distintos países tratan de alcanzar este objetivo utilizando disposiciones adecuadas a su legislación particular. En el Reino Unido, por ejemplo, el uso de la tierra está controlado por la legislación de planificación, con arreglo a la cual la planificación urbana normalmente requiere permisos concretos de las autoridades locales, que pueden tener en cuenta cualquier fábrica adyacente que entrañe riesgos de accidentes mayores.

3. Una consideración importante se refiere al grado de separación que es necesario. Desde un punto de vista teórico, se podría calcular el accidente peor de lo que fuera factible se produjera en la fábrica y permitir una urbanización únicamente fuera de ese campo de peligro. En lo que respecta a la mayor parte de los países, y en particular en lo que atañe a los riesgos tóxicos cuyas consecuencias podrían, en el peor de los casos, extenderse a varios kilómetros, esa política impediría el uso de grandes zonas de tierras a un costo considerable para la zona y para el país.

4. Otro método consiste en utilizar las técnicas de evaluación cuantificada del riesgo para pronosticar el peligro (o probabilidad del daño) para un ocupante de una zona de urbanización propuesta y luego decidir si ese riesgo es tolerable. Este método exige un considerable perfeccionamiento del análisis y de las técnicas de cálculo y es poco probable que resulte apropiado salvo cuando ya se estén aplicando medidas globales de prevención y lucha contra los riesgos de accidentes mayores.

5. Un método intermedio, que ha probado el Comité consultivo sobre riesgos mayores del Reino Unido, consiste en tratar de establecer una separación de las zonas de urbanización de las fábricas que entrañan riesgos graves. De este modo se consigue una protección casi completa contra los accidentes más comunes, pero relativamente menores y, además, una protección útil, pero no completa, contra acontecimientos graves, pero muy raros.

6. Sobre la base de este método, en el cuadro 8.1 se indican las distancias de separación aproximadas que se sugieren para todo un conjunto de fábricas con riesgos graves. Estas distancias deben considerarse como provisionales y habría que tener en cuenta las circunstancias locales para decidir si son aplicables. Cuando esas distancias se consideren inaceptables, será preciso realizar un trabajo de evaluación más amplio y detallado (párrafo 4).

7. *Clasificación en categorías de la urbanización o el desarrollo*

7.1. Al determinar las distancias de separación necesarias de una fábrica, puede ser útil una clasificación de la urbanización propuesta. Esto permitirá adoptar decisiones individuales en el marco de un enfoque coherente.

7.2. Las categorías de urbanización pueden tener en cuenta varios factores pertinentes al decidir si se debe permitir la urbanización, por ejemplo, cantidad de tiempo que los particulares pasan en la zona urbanizada, facilidad de aplicación de un plan de emergencia, vulnerabilidad de los ocupantes de la zona de urbanización (los ancianos son más vulnerables a las radiaciones térmicas).
Una clasificación general que se ha utilizado mucho se basa sobre las tres categorías siguientes:

Categoría A: Zonas residenciales, con inclusión de casas, hoteles, apartamentos;

Categoría B: Industrias, con inclusión de fábricas (a menos que proporcionen empleo a muchos trabajadores), almacenes;

Categoría C: Edificios especiales, con inclusión de escuelas, hospitales o residencias para ancianos.

Otros tipos de zonas urbanizadas se pueden añadir a las más apropiadas de estas categorías; por ejemplo, los teatros y cines y los centros comerciales podrían incluirse en la categoría A.

7.3. En el cuadro 8.1, *y como primera aproximación,* las distancias de separación dadas deben considerarse como sigue:

*a)* dentro de la distancia de separación: ningún edificio de la categoría C;

*b)* dentro de los dos tercios aproximadamente de la distancia: ningún edificio de la categoría A;

*c)* ninguna restricción a los edificios de la categoría B.

**Cuadro 8.1. Distancias de separación aproximadas que se sugieren para las fábricas que entrañan riesgos de accidentes mayores**

| Sustancia | Tamaño más grande del depósito (t) | Distancia de separación (párrafo 7.3) (m) |
|---|---|---|
| Gas licuado de petróleo, como el propano y el butano, mantenido a una presión absoluta superior a 1,4 bar | 25- 40 | 300 |
| | 41- 80 | 400 |
| | 81-120 | 500 |
| | 121-300 | 600 |
| | Más de 300 | 1 000 |
| | 25 o más, sólo en bombonas o pequeños depósitos a granel de hasta 5 te de capacidad | 100 |
| Gas licuado de petróleo, como el propano y el butano, mantenidos en condiciones de refrigeración a una presión absoluta de 1,4 bar o menos | 50 o más | 1 000 |
| Fosgeno | 2 o más | 1 000 |
| Cloro | 10-100 | 1 000 |
| | Más de 100 | 1 500 |
| Fluoruro de hidrógeno | 10 o más | 1 000 |
| Trióxido de sulfuro | 15 o más | 1 000 |
| Acrilonitrilo | 20 o más | 250 |
| Cianuro de hidrógeno | 20 o más | 1 000 |
| Disulfuro de carbono | 20 o más | 250 |
| Nitrato de amoníaco y mezclas de nitrato de amoníaco cuando el contenido de nitrógeno derivado del nitrato de amoníaco excede del 28 por ciento de la mezcla en peso | 500 o más | Véase la nota[1] |
| Oxígeno líquido | 500 o más | 500 |
| Dióxido de sulfuro | 20 o más | 1 000 |
| Bromo | 40 o más | 600 |
| Amoníaco (anhidro o como solución que contenga más del 50 por ciento de amoníaco en peso) | Más de 100 | 1 000 |
| Hidrógeno | 2 o más | 500 |
| Oxido de etileno | 5-25 | 500 |
| | Más de 25 | 1 000 |
| Oxido de propileno (almacenamiento a presión atmosférica) | 5 o màs | 250 |
| (almacenado a presión) | 5-25 | 500 |
| | Más de 25 | 1 000 |
| Metil isocianato | 1 | 1 000 |
| *Clases de sustancias no designadas específicamente* | | |
| 1. Gas o cualquier mezcla de gases que sea inflamable en el aire y que se conserve en la instalación como gas (con excepción de los gasómetros a baja presión) | 15 o más | 500 |
| 2. Cualquier sustancia o mezcla de sustancias que sea inflamable en el aire y que se mantenga normalmente en la instalación por encima de su punto de ebullición (medido a una presión absoluta de 1 bar) como líquido o como mezcla de líquido y gas a una presión absoluta superior a 1,4 bar | 25- 40 | 300 |
| | 41- 80 | 400 |
| | 81-120 | 500 |
| | 121-300 | 600 |
| | Más de 300 | 1 000 |
| | 25 o más sólo en bombonas o pequeños depósitos a granel de hasta 5 te de capacidad | 1 000 |
| 3. Un gas licuado o cualquier mezcla de gases licuados que sea inflamable en el aire, tenga un punto de ebullición inferior a 0 °C (medido a una presión absoluta de 1 bar) y se mantenga normalmente en la instalación refrigerado o enfriado a una presión absoluta de 1,4 bar o menos | 50 o más | 1 000 |
| 4. Cualquier líquido o mezcla de líquidos no incluidos en las categorías 1 a 3 *supra* que tenga una temperatura de inflamabilidad inferior a 21 °C | 10000 o más | 250 |

[1] Para el nitrato de amoníaco en sacos almacenados en armarios de 300 toneladas (como máximo) es apropiado una distancia de separación de 600 metros. Para el nitrato de amoníaco a granel, la distancia de separación se obtiene de la fórmula $600 \left\{ \frac{\text{dimensión de la pila (t)}}{300} \right\} 1/3.$