

Serie Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC)

Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea respecto a las emisiones generadas por el almacenamiento

Documento BREF



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE



COMISIÓN EUROPEA

Serie Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC)

Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea respecto a las emisiones generadas por el almacenamiento

Documento BREF



MADRID, 2013

Título original en inglés: *Integrated Pollution Prevention and Control Reference. Document on Best Available Techniques on Emissions from Storage.*

Traducción al español realizada por el
Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente



MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

Edita:

© Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
Secretaría General Técnica
Centro de Publicaciones

Distribución y venta

Paseo Infanta Isabel, 1
Teléfono: 91 347 55 41
Fax: 91 347 57 22

Maquetación, impresión y encuadernación:

Imprenta TARAVILLA, S.L.
Mesón de Paños, 6 - 28013 Madrid

NIPO: 280-13-214-4 (en línea)

NIPO: 280-13-213-9 (en papel)

ISBN: 978-84-491-1331-4

Depósito Legal: M-32635-2013

Catálogo General de publicaciones de la Administración General del Estado:

<http://publicacionesoficiales.boe.es>

Datos técnicos: Formato: 17 x 24 cm. Caja de texto: 13,2 x 19 cm. Composición: una columna. Tipografía: Century Schoolbook a cuerpos 10 al 12. Encuadernación: Rústica, cosido hilo. Papel interior offset de 90 grs. reciclado 100% libre de cloro, 1/1 tintas. Cubierta en cartulina gráfica de 300 grs. 100% libre de cloro, 4/0 tintas, plastificado mate.



PAPEL RECICLADO
LIBRE DE CLORO

NOTA INTRODUCTORIA

El 1 de julio de 2002 se aprobó la Ley 16/2002 de Prevención y Control Integrados de la Contaminación, que incorpora a nuestro ordenamiento jurídico la Directiva 96/61/CE.

La ley exige un enfoque integrado de la industria en su entorno y el conocimiento por parte de todos los implicados -industria, autoridades competentes y público en general de las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs), con el fin de reflejar todos estos aspectos en la Autorización Ambiental Integrada que otorgan las CCAA.

Se establece, en el marco de la Unión Europea, un intercambio de información entre los Estados miembros y las industrias para la elección de estas MTDs que deben servir de referencia común para los Estados miembros a la hora de establecer el objetivo tecnológico de aplicación a las diferentes actividades.

A tal efecto, la Comisión Europea a través de la Oficina Europea de IPPC (European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau), ha organizado una serie de grupos de trabajo técnico que, por epígrafes y actividades, proponen a la Comisión Europea los Documentos de Referencia Europeos de las Mejores Técnicas Disponibles (BREFs).

Los BREF informarán a las autoridades competentes sobre qué es técnica y económicamente viable para cada sector industrial, en orden a mejorar sus actuaciones medioambientales y, consecuentemente, lograr la mejora del medio ambiente en su conjunto.

Comisión Europea aprobó en Julio de 2006 el documento final del Grupo de Trabajo encargado de la valoración de: *"Integrated Pollution Prevention and Control Reference. Document on Best Available Techniques on Emissions from Storage"*. Este documento está disponible en versión española en la página web del Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (<http://prtr-es.es>) y en versión inglesa, en la web de la Oficina Europea de IPPC: <http://ec.europa.eu/environment/air/pollutants/stationary/ippc/index.htm>. y en la página: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>

El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente ha asumido la tarea, de acuerdo con los mandatos de la Directiva IPPC y de la Ley 16/2002, de llevar a cabo un correcto intercambio de información en materia de Mejores Técnicas Disponibles; este documento, en cumplimiento de las exigencias legales, obedece a una serie de traducciones emprendidas por el Ministerio de Medio Ambiente

sobre documentos BREF europeos.

Se pretende dar un paso más en la adecuación progresiva de la industria española a los principios de la Ley 16/2002, cuya aplicación efectiva debe conducir a una mejora del comportamiento ambiental de las instalaciones afectadas, que las haga plenamente respetuosas con el medio ambiente.

RESUMEN

El documento horizontal de referencia (BREF) de las mejores técnicas disponibles (MTD), titulado «Emisiones generadas por el almacenamiento», refleja el intercambio de información realizado de conformidad con lo dispuesto en el artículo 16, apartado 2, de la Directiva 96/61/CE del Consejo (Directiva IPPC). El presente resumen —que debe leerse en relación con la explicación del prefacio del BREF sobre objetivos, uso y términos legales— describe los resultados más importantes y resume las principales conclusiones sobre las mejores técnicas disponibles y los niveles de emisión y consumo asociados. Este documento puede leerse y entenderse como un documento independiente, pero, al tratarse de un resumen, no incluye todas las complejidades del texto íntegro del BREF. Por este motivo, no pretende sustituir al texto íntegro como herramienta para la toma de decisiones en torno a las mejores técnicas disponibles.

Ámbito de aplicación

El problema de las «emisiones generadas por el almacenamiento de materiales a granel o materias peligrosas» se considera una cuestión horizontal para todas las actividades descritas en el anexo I de la Directiva IPPC. Esto significa que el documento se refiere al almacenamiento, transporte y manipulación de líquidos, gases licuados y sólidos, independientemente del sector o industria de que se trate. Aborda las emisiones al aire, suelo y agua, pero se da prioridad sobre todo a las emisiones atmosféricas. La información sobre las emisiones atmosféricas generadas por el almacenamiento y manipulación/transporte de sólidos se centra en el polvo.

Información general, sustancias y clasificaciones

El capítulo 1, «Información general», proporciona datos generales sobre la importancia ambiental del almacenamiento y manipulación de sustancias a granel y sustancias peligrosas, y sobre la situación de las emisiones en las instalaciones de almacenamiento, señalando, en general, las fuentes más importantes de emisiones al aire y al agua, así como las fuentes de residuos. El capítulo 2, «Sustancias y clasificaciones», se ocupa de los diversos sistemas de clasificación de sustancias y de las diferentes categorías de sustancias, según su toxicidad, inflamabilidad y nocividad para el medio ambiente. Aborda asimismo la clase de dispersividad de los sólidos a granel.

Técnicas aplicadas de almacenamiento, transporte y manipulación, y técnicas que deben considerarse en la determinación de las MTD

El capítulo 3, «Técnicas aplicadas de almacenamiento, transporte y manipulación», describe las técnicas que se utilizan en el almacenamiento, transporte y manipulación de líquidos, gases licuados y sólidos. El capítulo 4 presenta las técnicas que deben considerarse en la determinación de las MTD respecto a los líquidos, gases licuados y sólidos. En primer lugar se resumen los temas relacionados con los líquidos y los gases licuados y, a continuación, los relacionados con los sólidos.

Líquidos y gases licuados

En lo que se refiere a los líquidos y los gases licuados, el capítulo 3 describe las formas de almacenamiento siguientes:

- tanques de techo abierto
- tanques de techo flotante externo
- tanques de techo fijo (verticales)
- tanques horizontales de superficie (atmosféricos)
- tanques horizontales (a presión)
- tanques verticales (a presión)
- tanques esféricos (a presión)
- tanques cubiertos de tierra (a presión)
- tanques de techo levadizo (espacio de vapor variable)
- tanques refrigerados
- tanques horizontales subterráneos
- contenedores y almacenamiento de contenedores
- estanques y balsas
- cavidades excavadas (atmosféricas)
- cavidades excavadas (a presión)
- cavidades salinas lixiviadas
- almacenamiento flotante.

Respecto a los tanques y otras formas de almacenamiento se abordan asimismo aspectos tales como los orificios de venteo; las escotillas de medición, de toma de muestras y de acceso; los pozos fijos y las guías; los drenajes; las juntas y las válvulas, y cuestiones comunes, además de cuestiones como diseño, puesta en marcha y clausura, consideraciones económicas, gestión y funcionamiento.

En relación con el transporte y manipulación de líquidos y gases licuados, se describen elementos tales como orificios de venteo, drenajes, juntas y dispositivos de alivio de presión, así como las siguientes técnicas u operaciones:

- sistemas de transporte por tuberías de superficie abiertas o cerradas
- sistemas de transporte por tuberías subterráneas
- carga y descarga de los dispositivos de transporte
- flujo por gravedad
- bombas y compresores
- gases inertes
- bridas y juntas
- válvulas y empalmes.

Para cada forma de almacenamiento y cada operación de transporte y manipulación, se enumeran las actividades siguientes: llenado, vaciado, respiración, limpieza, drenaje, raspado, purga, conexión/desconexión y eventuales sucesos/incidentes, como sobrellenado y fugas, que podrían dar lugar a emisiones. Esto constituye la base para describir las eventuales emisiones por formas de almacenamiento y actividades. En concreto, se seleccionan las eventuales fuentes de emisiones generadas por las diversas formas de almacenamiento y las operaciones de transporte y manipulación para su análisis posterior, utilizando una matriz de riesgos. En este método se aplica un sistema de puntuación, en el que los puntos de las emisiones generadas por fuentes operativas se calculan multiplicando la frecuencia de las emisiones por el volumen de las emisiones correspondientes a cada forma de almacenamiento y a cada operación de transporte y manipulación. Se consideran relevantes todas las potenciales fuentes de emisiones con 3 o más puntos y, por tanto, en el capítulo 4, «Técnicas que deben considerarse en la determinación de las MTD», se analizan las medidas de control de emisiones, en lo sucesivo denominadas MCE, con objeto de prevenir o reducir las emisiones potenciales de tales fuentes.

El capítulo 4 proporciona información sobre las posibles MCE correspondientes a cada forma de almacenamiento analizada en el capítulo 3, que incluye una evaluación de los aspectos pertinentes en materia de seguridad y funcionamiento, así como consideraciones económicas. Los tanques se utilizan para el almacenamiento de una amplia gama de sustancias, como estiércol, agua de refrigeración y todo tipo de productos químicos y petroquímicos. En la industria petroquímica, donde se almacenan en tanques volúmenes importantes de productos químicos y petroleros, se ha adquirido una gran experiencia en la prevención y reducción de las emisiones y, por tanto, una parte importante de la información incluida en este BREF está relacionada con el almacenamiento de productos petroquímicos en tanques.

Respecto a las emisiones generadas por el funcionamiento normal de un tanque, se analizan y evalúan las siguientes MCE, que no son sólo técnicas, sino también herramientas de gestión y funcionamiento:

- diseño del tanque
- inspección, mantenimiento y control

- principio de minimización de emisiones
- cubiertas flotantes, flexibles y fijas
- bóvedas
- color del tanque
- escudos solares
- refrigeración natural del tanque
- techos flotantes externos e internos y elementos de estanqueidad de los techos
- válvulas de alivio de presión y de vacío
- sistemas de drenaje
- compensación y tratamiento del vapor
- agitación y eliminación de lodos (sólidos).

Este capítulo proporciona asimismo una metodología general para evaluar las MCE aplicables a los tanques en casos específicos (productos, emplazamiento y tanques de almacenamiento específicos) y presenta una serie de estudios de casos.

Las MCE de las emisiones potenciales de los tanques debidas a incidentes y accidentes (graves) que se analizan y evalúan son las siguientes:

- gestión de la seguridad y del riesgo
- procedimientos operativos y formación
- indicador de bajo nivel en tanques de techo flotante externo
- fugas y sobrellenado, p. ej.:
 - fugas por corrosión y erosión
 - instrumentos y mecanismos automáticos para impedir el sobrellenado y detectar fugas
 - barreras impermeables y muros de contención para tanques
 - tanques de doble pared
- material de protección contra incendios y de lucha contra incendios y contención.

Las técnicas de almacenamiento para los materiales peligrosos embalados, descritas en el capítulo 3, consisten en el almacenamiento en células, edificios y parques. Las operaciones relacionadas con materiales embalados no generan emisiones; las únicas emisiones posibles se deben a incidentes y accidentes (graves). Las MCE analizadas y evaluadas en el capítulo 4 son las siguientes:

- seguridad y gestión del riesgo
- construcción y ventilación
- políticas de segregación y separación
- contención de fugas y agentes extintores contaminados
- material de protección contra incendios y de lucha contra incendios.

En la industria, los estanques y las balsas se utilizan más comúnmente para contener agua de refrigeración, agua para extinción de incendios y aguas residuales

tratadas o no tratadas. En la agricultura, su uso está muy generalizado para el almacenamiento de estiércol. Las MCE analizadas y evaluadas en el capítulo 4 respecto a los estanques y balsas consisten en cubiertas flotantes y plásticas o rígidas, barreras impermeables y protección contra el sobrellenado debido a las lluvias. Los tipos de cavidades señaladas consisten en cavidades excavadas que pueden ser atmosféricas, aunque la mayor parte de las veces son a presión, y cavidades salinas lixiviadas. Las cavidades se utilizan normalmente para el almacenamiento de hidrocarburos, como el petróleo crudo, la gasolina, el gasóleo, el fuelóleo y el gas licuado de petróleo (GLP). Las emisiones generadas en las cavidades excavadas a presión y en las cavidades salinas lixiviadas como consecuencia de las operaciones habituales no son significativas y, por tanto, no se han señalado las MCE correspondientes. No obstante, en el caso de las cavidades excavadas atmosféricas se ha analizado y evaluado la compensación del vapor como MCE para las emisiones generadas durante el funcionamiento normal. Las MCE para las emisiones debidas a incidentes y accidentes (graves) que se analizan respecto a los diferentes tipos de cavidades, según convenga, son las siguientes:

- seguridad y gestión del riesgo
- seguimiento
- propiedades de seguridad intrínsecas
- mantenimiento de la presión hidrostática
- inyección de cemento
- sistema de bloqueo
- protección automática contra el sobrellenado.

El almacenamiento flotante, es decir, en buques, se utiliza en ocasiones para proporcionar una capacidad de almacenamiento temporal complementaria en una terminal marítima. Esos buques son normalmente antiguos buques comerciales. Las válvulas de alivio de presión y de vacío, el color del tanque y la compensación, la recogida o tratamiento de los vapores son medidas similares a las MCE señaladas para los tanques de almacenamiento. Se han identificado algunas MCE relativas a las emisiones debidas a incidentes y accidentes (graves), pero no se ha presentado más información al respecto.

En lo que se refiere al transporte y manipulación de líquidos y gases licuados, se señalan y analizan muchas menos MCE que para el almacenamiento de tales sustancias y productos. Las MCE más importantes son las siguientes: algunas herramientas de gestión, prevención de la corrosión interna y externa, y compensación de los vapores, así como gestión de la carga (y descarga) de los dispositivos de transporte. En relación con la manipulación de los productos, se analizan y evalúan diversos tipos de bombas y válvulas de alto rendimiento, como las válvulas de fuelle y las válvulas de diafragma, las bombas de no sellado y las juntas duales presurizadas o no presurizadas para bombas.

Sólidos

El capítulo 3 presenta asimismo las técnicas aplicadas al almacenamiento, transporte y manipulación de sólidos a granel. Se describen diferentes tipos de almacenamiento al aire libre, que constituye una importante fuente potencial de emisiones de polvo, como el almacenamiento en sacos y bolsas a granel, silos y depósitos, así como sólidos peligrosos embalados. La manipulación práctica de sólidos a granel es otra fuente potencial de emisiones de polvo, incluso mayor que el almacenamiento, por lo que se describen varias técnicas de carga, descarga y transporte. Estas son las siguientes:

- cucharas de almeja
- tolvas de descarga
- cubetas
- cintas transportadoras por aspiración de aire
- dispositivos de carga móviles
- pozos de descarga
- tubos y conductos de llenado
- tubos en cascada
- rampas
- cintas lanzadoras
- cintas transportadoras
- elevadores de cangilones
- cintas transportadoras de cadena y helicoidales
- cintas transportadoras de aire comprimido
- alimentadores.

El capítulo 4, «Técnicas que deben considerarse en la determinación de las MTD», describe y evalúa las MCE destinadas a prevenir las emisiones de polvo generadas por el almacenamiento, transporte y manipulación de sólidos. Los tres métodos de prevención de las emisiones de polvo identificados para minimizar el polvo procedente del almacenamiento y manipulación son los siguientes: métodos preprimarios, primarios y secundarios. Los métodos preprimarios forman parte del proceso de producción o extracción y, por tanto, no entran dentro del ámbito de aplicación de este documento. Los métodos primarios tienen por objeto impedir la formación de polvo y pueden dividirse en organizativos, técnicos y de construcción, siendo este último aplicable únicamente al almacenamiento y no a la manipulación. Los métodos secundarios son técnicas de reducción para limitar la distribución de polvo cuando no se haya podido impedir su formación. En la tabla 1 figuran los métodos y técnicas para prevenir y limitar las emisiones de polvo generadas por el almacenamiento de sólidos.

Métodos y técnicas para reducir las emisiones de polvo generadas por el almacenamiento de sólidos		
Primarios	Organizativos	• control
		• disposición y funcionamiento de los lugares de almacenamiento (a cargo del personal de planificación y explotación)
		• mantenimiento (técnicas de prevención/reducción)
		• reducción de las superficies expuestas al viento
	De construcción	• silos de gran volumen
		• hangares o tejados
		• bóvedas
		• cubiertas autoinstalables
		• silos y tolvas
		• montículos, vallas o plantaciones de protección contra el viento
	Técnicos	• utilización de protecciones contra el viento
		• cubierta para el almacenamiento al aire libre
• humidificación del almacenamiento abierto		
Secundarios	• aspersión de agua/cortinas de agua y aspersión de agua a presión	
	• extracción de polvo de hangares y silos de almacenamiento	

Tabla 1: Métodos y técnicas para reducir las emisiones de polvo generadas por el almacenamiento de sólidos

Todas esas técnicas se describen y evalúan en el capítulo 4. En la tabla 2 se enumeran los métodos y técnicas para prevenir y limitar las emisiones de polvo generadas por la manipulación de sólidos. Esas técnicas se describen y evalúan asimismo en el capítulo 4.

Métodos y técnicas para reducir las emisiones de polvo generadas por el transporte y manipulación de sólidos		
Primarios	Organizativos	Condiciones climáticas
		Medidas (a cargo del operador de la grúa) cuando se utiliza una cuchara de almeja: <ul style="list-style-type: none"> • reducir la altura de caída cuando se descarga el material • cerrar totalmente la cuchara o las garras tras haber recogido el material • dejar la cuchara en las tolvas el tiempo suficiente después de la descarga • detener el funcionamiento de la cuchara cuando sopla viento fuerte
		Medidas (a cargo del operador) cuando se utiliza una cinta transportadora: <ul style="list-style-type: none"> • hacer funcionar la cinta transportadora a la velocidad adecuada • evitar cargar la cinta hasta los bordes
		Medidas (a cargo del operador) cuando se utiliza una pala mecánica: <ul style="list-style-type: none"> • reducir la altura de caída cuando se descarga el material • elegir la posición correcta durante la descarga a un camión
		Disposición y funcionamiento de los lugares de almacenamiento (a cargo del personal de explotación y de planificación) <ul style="list-style-type: none"> • reducir las distancias de transporte • ajustar la velocidad de los vehículos • utilizar carreteras de firme duro • reducir las superficies expuestas al viento
	Técnicos	Optimizar las cucharas de almeja
		Utilizar cintas transportadoras cerradas (por ejemplo, tubulares, helicoidales, etc.)
		Cinta transportadora sin poleas de apoyo
		Medidas primarias relativas a las cintas transportadoras convencionales
		Medidas primarias relativas a las rampas de transporte
		Minimizar la velocidad de bajada
		Minimizar las alturas de caída libre (por ejemplo, tolvas con caídas en cascada)
		Utilizar barreras contra la dispersión del polvo en los pozos de descarga y en las tolvas
Depósitos que limitan la emisión de polvo		
Chasis de vehículos con extremidades redondeadas		
Secundarios	Pantallas para cintas transportadoras abiertas	
	Confinar o cubrir las fuentes de emisión	
	Colocar cubiertas, fundas o tapones en los tubos de llenado	
	Sistemas de extracción	
	Sistemas de filtrado para cintas transportadoras neumáticas	
	Pozos de descarga con equipos de aspiración, cubierta y barreras contra la emisión de polvo	
	Tolvas de descarga optimizadas (en los puertos)	
	Técnicas de aspersión de agua/cortinas de agua y de aspersion de agua a presión	
	Limpiar las cintas transportadoras	
	Equipar los camiones con aletas mecánicas/hidráulicas	
	Limpiar las carreteras	
Limpiar los neumáticos de los vehículos		

Tabla 2: Métodos y técnicas para reducir las emisiones de polvo generadas por el transporte y manipulación de sólidos

Mejores técnicas disponibles

A continuación se ofrece un resumen del capítulo 5 «Mejores técnicas disponibles» y se describen las técnicas, métodos o actividades de las que se extraen las conclusiones sobre las MTD. Se refieren a los problemas medioambientales más importantes, es decir, las emisiones al aire y al suelo generadas por las operaciones normales de almacenamiento y manipulación de líquidos y las emisiones de polvo procedentes del almacenamiento y manipulación de sólidos. En algunas situaciones se indican también algunas conclusiones sobre MTD que se refieren a las emisiones provocadas por incidentes y accidentes (graves). La lectura de los párrafos que siguen a continuación no debe excluir la del capítulo «Mejores técnicas disponibles» que, a su vez, no debe leerse sin tener en cuenta el resto del documento BREF. Por eso, en cada conclusión se hacen referencias cruzadas a las secciones correspondientes de otros capítulos.

Las conclusiones sobre las MTD que figuran en el capítulo 5 se han agrupado de la siguiente manera: en primer lugar, figuran las conclusiones que se refieren al almacenamiento de líquidos y gases licuados y se abordan los principios generales para prevenir y reducir las emisiones, a saber:

- inspección y mantenimiento,
- ubicación y disposición,
- color del tanque,
- principio de minimización de emisiones en el almacenamiento en tanques,
- control de los COV,
- sistemas especializados.

A continuación se exponen las conclusiones sobre MTD específicas para los tanques en relación con las emisiones generadas por las operaciones normales, y se abordan todos los tipos de tanques descritos en el capítulo 4. A ello siguen lógicamente las conclusiones relativas a las MTD sobre las emisiones (potenciales) que no se provocan como consecuencia de las operaciones normales realizadas con tanques, es decir, las que se aplican para prevenir incidentes y accidentes (graves) y que se refieren a lo siguiente:

- seguridad y gestión del riesgo,
- operativos y formación,
- fugas por corrosión y/o erosión,
- procedimientos operativos e instrumentos para impedir el sobrellenado,
- instrumentos y mecanismos automáticos para detectar fugas,
- aplicación de un sistema basado en el riesgo a las emisiones al suelo por debajo de los tanques,
- protección del suelo en torno a los tanques (contención),
- zonas inflamables y fuentes de ignición,

- protección contra incendios,
- material de lucha contra incendios,
- contención de los agentes extintores contaminados.

Tras las conclusiones en cuanto a las MTD en materia de almacenamiento en tanques se ofrecen las correspondientes a las demás técnicas de almacenamiento, a saber:

- almacenamiento de sustancias peligrosas embaladas,
- estanques y balsas,
- cavidades excavadas y cavidades salinas lixiviadas.

Se llega a la conclusión de que el almacenamiento flotante no es una de las MTD.

En segundo lugar figuran las conclusiones sobre las MTD para el transporte y manipulación de líquidos y gases licuados, y también se empieza con una exposición de los principios generales para prevenir y reducir emisiones, que en este caso son los siguientes:

- inspección y mantenimiento,
- programa de detección de fugas y reparación,
- principio de minimización de emisiones en el almacenamiento en tanques,
- seguridad y gestión del riesgo,
- procedimientos operativos y formación.

Se describen las conclusiones sobre las MTD específicas en relación con los sistemas de tuberías (tanto sistemas de superficie como subterráneos), la reducción de las emisiones generadas por las actividades de carga y descarga, las juntas de los sistemas de tuberías y la prevención de la corrosión, las válvulas, las bombas y compresores y las conexiones para la toma de muestras.

En tercer lugar, se enumeran las conclusiones sobre las MTD en relación con las emisiones de polvo generadas por el almacenamiento abierto y cerrado y por el almacenamiento de materiales embalados, y se termina con una conclusión sobre las MTD en cuanto a seguridad y gestión del riesgo.

Por último, se indican las conclusiones sobre las MTD respecto a las emisiones de polvo provocadas por el transporte y manipulación de sólidos, empezando con las conclusiones relativas a los siguientes métodos generales para minimizarlas:

- programación de las actividades de transporte;
- transporte continuo,
- medidas de reducción cuando el transporte es discontinuo, a saber:
 - limpieza de carreteras y neumáticos de los vehículos;

- humidificación del producto
- minimización de la velocidad de bajada
- minimización de la altura de caída libre.

Las conclusiones sobre las MTD relativas a los métodos generales van seguidas de las que se refieren a la minimización de las emisiones de polvo provocadas por las técnicas de transporte que utilizan cucharas de almeja y cintas transportadoras.

Observaciones finales

En el capítulo 7 «Observaciones finales», el lector encontrará información sobre lo siguiente:

- el material informativo presentado por el Grupo de trabajo técnico que ha sido la piedra angular de este BREF;
- el grado de consenso alcanzado acerca de las conclusiones sobre las MTD;
- recomendaciones para trabajos futuros;
- temas propuestos para futuros proyectos de I+D.

Se ha llegado a la conclusión de que el grado de consenso alcanzado ha sido alto, ya que, de un total de 110 conclusiones sobre MTD, ha habido 5 opiniones divergentes en los apartados relativos al almacenamiento y manipulación de líquidos y gases licuados. No se ha registrado ninguna opinión divergente respecto a las conclusiones relativas al almacenamiento y manipulación de sólidos. Las opiniones divergentes se refieren a lo siguiente:

- la metodología de evaluación (medidas de control de emisiones);
- el requisito de utilizar una instalación de tratamiento de los vapores en el caso del almacenamiento de algunas sustancias volátiles en tres tipos de tanques;
- el instrumento que puede utilizarse para cuantificar las emisiones de COV.

En la reunión del Foro de Intercambio de Información (IEF) de diciembre de 2004, se formuló una opinión divergente general de algunos Estados miembros respecto al hincapié hecho en la determinación de las MTD caso por caso, opinión que se ha incluido en el capítulo 5.

Las recomendaciones para la revisión futura del BREF se refieren a lo siguiente:

- establecimiento de un sistema europeo de clasificación de contaminantes atmosféricos;
- separación entre el almacenamiento y manipulación de líquidos y gases licuados y el almacenamiento y manipulación de sólidos, que son dos cuestiones completamente distintas y que, por tanto, requieren competencias diferentes;

- control de las emisiones de COV y herramientas para validar los métodos de cálculo de esas emisiones;
- actualización de la lista de técnicas para prevenir o reducir las emisiones de los tanques al suelo;
- recogida de datos sobre la carga y descarga de los dispositivos de transporte en relación con las sustancias volátiles;
- recopilación de las reacciones que suscitan la metodología de evaluación.

La CE lanza y apoya, mediante sus programas de IDT, una serie de proyectos sobre tecnologías limpias, tratamiento de efluentes y tecnologías y estrategias de gestión del reciclado, que podrían aportar una contribución valiosa a futuras revisiones del BREF. Por ello, se ruega a los lectores que informen a la Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (EIPPCB) de los resultados de investigaciones que puedan ser de interés para el tema objeto de este documento (véase también al respecto el prefacio del documento).

PREFACIO

1. Categoría del presente documento

Salvo que se indique lo contrario, las referencias a «la Directiva» que figuran en el presente documento remiten a la Directiva del Consejo 96/61/CE relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación (IPPC). Tanto esta Directiva como el presente documento son pertinentes sin perjuicio de las disposiciones sobre salud y seguridad en el trabajo.

Este documento forma parte de una serie que presenta los resultados de un intercambio de información entre los Estados miembros y los sectores correspondientes acerca de las mejores técnicas disponibles (MTD), las prescripciones de control correspondientes y su evolución. *[Se trata de un documento publicado por la Comisión Europea, con arreglo al apartado 2 del artículo 16 de la Directiva, y, por consiguiente, debe tenerse en cuenta cuando se determinen las MTD, de conformidad con el anexo IV de la Directiva].

2. Preceptos legales pertinentes de la Directiva IPPC y definición de MTD

Con objeto de ayudar al lector a comprender el contexto legal en el que se ha redactado este documento, se describen en este prefacio las disposiciones más importantes de la Directiva IPPC, incluida la definición del término «mejores técnicas disponibles» (MTD). Esta descripción es inevitablemente incompleta y tiene una utilidad exclusivamente informativa. No tiene valor legal y no altera ni menoscaba en modo alguno las disposiciones propiamente dichas de la Directiva.

La Directiva tiene por objeto la prevención y el control integrados de la contaminación procedente de las actividades que figuran en el anexo I, con el fin de alcanzar un nivel elevado de protección del medio ambiente considerado en su conjunto. El fundamento jurídico de la Directiva se refiere a la protección ambiental. Su aplicación deberá tener en cuenta asimismo otros objetivos comunitarios, como la competitividad de la industria comunitaria, para contribuir así al desarrollo sostenible.

Más específicamente, establece un sistema de permisos para ciertas categorías de instalaciones industriales, que invita tanto a los titulares de las explotaciones como a las autoridades reglamentarias a realizar un análisis integral y global del potencial de contaminación y consumo de la instalación. El objetivo general de este enfoque integrado deberá ser la mejora de la gestión y el control de los procesos industriales para garantizar un nivel elevado de protección del medio ambiente en su conjunto. Para este enfoque es fundamental el principio general establecido

en el artículo 3, por el que los titulares de las explotaciones deberán tomar todas las medidas preventivas apropiadas frente a la contaminación, en especial mediante la aplicación de las mejores técnicas disponibles que permitan mejorar sus prestaciones ambientales.

El término «mejores técnicas disponibles» se define en el apartado 11 del artículo 2 de la Directiva como «la fase más eficaz y avanzada de desarrollo de las actividades y de sus modalidades de explotación, que demuestren la capacidad práctica de determinadas técnicas para constituir, en principio, la base de los valores límite de emisión destinados a evitar o, cuando ello no sea practicable, reducir en general las emisiones y el impacto en el conjunto del medio ambiente». El apartado 11 del artículo 2 continúa con la siguiente aclaración adicional de la citada definición:

«técnicas»: la tecnología utilizada junto con la forma en que la instalación esté diseñada, construida, mantenida, explotada y paralizada;

«disponibles»: las técnicas desarrolladas a una escala que permita su aplicación en el contexto del sector industrial correspondiente, en condiciones económica y técnicamente viables, teniendo en consideración los costes y los beneficios, tanto si las técnicas se utilizan o producen en el Estado miembro correspondiente como si no, siempre que el titular pueda tener acceso a ellas en condiciones razonables;

«mejores»: las técnicas más eficaces para alcanzar un alto nivel general de protección del medio ambiente en su conjunto.

Además, el anexo IV de la Directiva contiene una lista de «aspectos que deben tenerse en cuenta con carácter general o en un supuesto particular cuando se determinen las mejores técnicas disponibles (...), teniendo en cuenta los costes y ventajas que pueden derivarse de una acción y los principios de precaución y prevención». Estos aspectos incluyen la información publicada por la Comisión de acuerdo con el apartado 2 del artículo 16.

Las autoridades competentes responsables de la concesión de permisos deberán tener en cuenta los principios generales establecidos en el artículo 3 a la hora de determinar las condiciones del permiso. Estas condiciones deberán especificar los valores límite de emisión, complementados o sustituidos, en su caso, por parámetros o medidas técnicas equivalentes. De acuerdo con el apartado 4 del artículo 9 de la Directiva, estos valores límite de emisión, parámetros y medidas técnicas equivalentes deberán basarse, sin perjuicio del cumplimiento de las normas de calidad ambiental, en las mejores técnicas disponibles, sin prescribir la utilización de una técnica o tecnología específica, sino tomando en consideración las características técnicas de la instalación de que se trate, su implantación geográfica y las condiciones locales del medio ambiente. En todos los casos, las condiciones del permiso deberán incluir disposiciones relativas a la reducción de la contaminación

a larga distancia o transfronteriza y garantizar un nivel elevado de protección del medio ambiente en su conjunto.

Los Estados miembros tienen la obligación, de acuerdo con el artículo 11 de la Directiva, de velar por que las autoridades competentes estén al corriente o sean informadas acerca de la evolución de las MTD.

3. Finalidad del presente documento

El apartado 2 del artículo 16 de la Directiva exige que la Comisión organice «un intercambio de información entre los Estados miembros y las industrias correspondientes acerca de las mejores técnicas disponibles, las prescripciones de control relacionadas y su evolución» y que publique los resultados de tal intercambio.

La finalidad del intercambio de información se establece en el considerando 25 de la Directiva, que estipula que «los avances y el intercambio de información en la Comunidad sobre las mejores técnicas disponibles contribuirán a reducir los desequilibrios tecnológicos a nivel de la Comunidad, ayudarán a la divulgación mundial de los valores límite establecidos y de las técnicas empleadas en la Comunidad y, asimismo, ayudarán a los Estados miembros para la aplicación eficaz de la presente Directiva».

La Comisión (DG Medio Ambiente) creó un Foro de Intercambio de Información (IEF, por sus siglas en inglés) para contribuir al trabajo previsto en el apartado 2 del artículo 16, y al amparo del IEF se han creado varios grupos de trabajo técnicos. Tanto en el IEF como en los grupos de trabajo técnicos participan representantes de los Estados miembros y de la industria correspondiente, tal como se establece en el apartado 2 del artículo 16.

La finalidad de esta serie de documentos consiste en reflejar con precisión el intercambio de información que ha tenido lugar con arreglo a lo previsto en el apartado 2 del artículo 16 y facilitar información de referencia que las autoridades competentes deberán tomar en consideración a la hora de establecer las condiciones de los permisos. La información de interés que contienen estos documentos con respecto a las MTD hace de ellos valiosas herramientas para mejorar las prestaciones ambientales.

4. Fuentes de información

El presente documento constituye un resumen de la información obtenida de varias fuentes, con inclusión, en particular, de los conocimientos de los grupos creados para asistir a la Comisión en su trabajo, y verificada por los servicios de la Comisión. Se agradecen todas estas aportaciones.

5. Cómo entender y utilizar el presente documento

La información que contiene el presente documento tiene por objeto servir de punto de partida para la determinación de las MTD en casos específicos. A la hora de determinar las MTD y establecer las condiciones de concesión del permiso basadas en dichas técnicas, deberá tenerse siempre en cuenta el objetivo general de lograr un nivel elevado de protección del medio ambiente en su conjunto.

El resto de esta sección describe el tipo de información que se facilita en cada sección del documento.

El capítulo 1 proporciona información sobre el almacenamiento y la manipulación de sustancias a granel y sustancias peligrosas en general.

El capítulo 2 se ocupa de los sistemas de clasificación de sustancias y de las diferentes categorías de sustancias, según su toxicidad, inflamabilidad y nocividad para el medio ambiente. Aborda asimismo la clase de dispersibilidad de los sólidos a granel.

El capítulo 3 describe las técnicas que se utilizan en el almacenamiento, transporte y manipulación de líquidos, gases licuados y sólidos, así como las posibles emisiones procedentes de las instalaciones de almacenamiento y de transporte, tanto de superficie como subterráneas. Para cada categoría de almacenamiento y transporte se listan las actividades operativas relevantes y los posibles incidentes o sucesos. Se desarrollan marcadores de puntuación de las emisiones y se muestran las emisiones relevantes, que se discuten con mayor detalle en el capítulo 4.

El capítulo también describe el almacenamiento y la manipulación de sólidos a granel. Las pilas de material a granel, como cereales y carbón, al aire libre son una fuente potencial de emisiones de polvo. Se describen diversos tipos de pilas. Como la manipulación real de los materiales sólidos a granel es otra fuente potencial de emisiones de polvo, se describen diversas técnicas de carga, descarga y transporte.

El capítulo 4 ofrece información básica sobre las posibles Medidas de Control de las Emisiones (MCE) que, para líquidos y gases, incluye una valoración de los aspectos operativos y de seguridad relevantes, así como consideraciones económicas. También se describen y valoran las MCE para la prevención de emisiones de polvo procedentes del almacenamiento y la manipulación de sólidos, pero esta valoración es menos exhaustiva que en el caso de líquidos y de gases. Este capítulo también ofrece una metodología general para realizar la correcta valoración de las MCE para casos específicos (producto, modo de almacenamiento y lugar de almacenamiento específicos) y presenta varios estudios de casos. El objetivo es proporcionar una metodología general aplicable al almacenamiento y manipulación de sustancias que ayude en la determinación de condiciones de permisos basados

en MTD. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la metodología presentada en el capítulo 4 no es necesariamente la más adecuada para todas las instalaciones.

El capítulo 5 se centra en la selección y descripción de las MTD. Debe remarcar que este documento no propone valores límite de emisiones. La determinación de las condiciones de permiso adecuadas implicará la consideración de factores locales, factores específicos del emplazamiento, como su ubicación geográfica y las condiciones ambientales locales. Para las instalaciones existentes también debe considerarse la viabilidad económica y técnica de su mejora y actualización. Incluso el único objetivo de garantizar un nivel elevado de protección ambiental global implicará realizar a menudo una valoración de compromisos entre diferentes tipos de impacto ambiental, que muchas veces estarán influidos por consideraciones locales.

Como las mejores técnicas disponibles cambian a lo largo del tiempo, este documento se revisará y actualizará según se considere necesario. Todos los comentarios y sugerencias deben dirigirse a la Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (EIPPCB) en el Instituto de Estudios Tecnológicos Prospectivos, en la dirección siguiente:

Edificio Expo, c/Inca Garcilaso, s/n, E-41092 Sevilla, España

Teléfono: +34 95 4488 284

Fax: +34 95 4488 426

Correo electrónico: JRC-IPTS-EIPPCB@cec.eu.int

Internet: <http://eippcb.jrc.es>

ÍNDICE

	<u>Págs.</u>
RESUMEN	I
PREFACIO	XIII
ÁMBITO DE APLICACIÓN	XLI
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
1.1. Importancia ambiental del almacenamiento	1
1.2. Situaciones de emisión en instalaciones de almacenamiento.....	3
1.2.1. Emisiones a la atmósfera	3
1.2.2. Emisiones al agua.....	4
1.2.3. Emisiones acústicas.....	4
1.2.4. Cuestiones sobre residuos	3
1.2.5. Incidentes y accidentes (graves)	5
2. SUSTANCIAS Y SU CLASIFICACIÓN	7
2.1. Naturaleza y clasificación de materiales peligrosos.....	7
2.2. Clasificación de sustancias empaquetadas.....	9
2.3. Clases de dispersibilidad de materiales sólidos a granel.....	9
2.4. Cómo usar los sistemas de clasificación en este documento	9
3. TÉCNICAS APLICADAS DE ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y MANIPULACIÓN	11
3.1. Almacenamiento de líquidos y gases licuados	11
3.1.1. Tanques de techo abierto	14
3.1.2. Tanques de techo flotante externo (TTFE)	16
3.1.3. Tanques de techo fijo (TTF) vertical.....	19
3.1.4. Tanques horizontales de superficie (atmosféricos)	23
3.1.5. Tanques horizontales presurizados	27
3.1.6. Tanques verticales presurizados	28
3.1.7. Tanques esféricos presurizados	30
3.1.8. Tanques cubiertos de tierra (presurizados)	32
3.1.9. Tanques de espacio de vapor variable.....	35
3.1.10. Tanques refrigerados.....	37
3.1.11. Tanques horizontales subterráneos.....	41
3.1.12. Consideraciones asociadas a los tanques	43
3.1.12.1. Aspectos económicos	43
3.1.12.2. Diseño y construcción	44
3.1.12.3. Puesta en funcionamiento	47
3.1.12.4. Gestión.....	48
3.1.12.5. Funcionamiento	48
3.1.12.6. Desmantelamiento y demolición.....	49
3.1.12.7. Equipamiento del tanque	50
3.1.12.7.1. Respiraderos.....	50

	<u>Págs.</u>
3.1.12.7.2. Trampillas de medición y muestreo	52
3.1.12.7.3. Pozos fijos y guías	53
3.1.12.7.4. Instrumentación	53
3.1.12.7.5. Trampillas de acceso	54
3.1.12.7.6. Desagües	54
3.1.12.7.7. Mezcladores.....	55
3.1.12.7.8. Sistemas de calentamiento	56
3.1.12.7.9. Elementos de estanqueidad	56
3.1.12.7.10. Válvulas.....	57
3.1.13. Contenedores y almacenamiento de contenedores	57
3.1.13.1. Celdas de almacenamiento.....	60
3.1.13.2. Edificios de almacenamiento.....	60
3.1.13.3. Almacenamiento en exteriores (parques de almacenamiento)	62
3.1.14. Estanques y balsas	62
3.1.15. Cavidades excavadas (atmosféricas)	64
3.1.16. Cavidades excavadas (a presión)	73
3.1.17. Cavidades salinas lixiviadas	75
3.1.18. Almacenamiento flotante	78
3.2. Transporte y manipulación de líquidos y gases licuados	80
3.2.1. Transporte del producto	83
3.2.1.1. Sistemas de transporte por tuberías de superficie cerradas.	83
3.2.1.2. Sistemas de transporte por tuberías de superficie abiertas .	84
3.2.1.3. Sistemas de transporte por tuberías subterráneas	86
3.2.1.4. Carga y descarga de unidades de transporte.....	87
3.2.2. Manipulación del producto.....	90
3.2.2.1. Flujo por gravedad.....	91
3.2.2.2. Bombas	92
3.2.2.3. Compresores.....	93
3.2.2.4. Gases inertes.....	94
3.2.2.5. Bridas y juntas.....	95
3.2.2.6. Válvulas y empalmes.....	96
3.2.3. Consideraciones relativas a los sistemas de transporte y manipulación.	98
3.2.3.1. Aspectos económicos	98
3.2.3.2. Diseño y construcción	99
3.2.3.3. Puesta en marcha y desmantelamiento	101
3.2.4. Equipamiento y accesorios.....	102
3.2.4.1. Elementos de sellado	102
3.2.4.2. Orificios de venteo, desagües y puntos de muestreo	104
3.2.4.3. Instrumentación en sistemas de tuberías	105
3.2.4.4. Dispositivos de escape de presión	105
3.2.5. Transporte y manipulación de productos envasados	105
3.3. Almacenamiento de sustancias sólidas	107
3.3.1. Almacenamiento al aire libre.....	107
3.3.2. Sacos y bolsas a granel.....	109
3.3.3. Silos y depósitos.....	110
3.3.4. Sólidos peligrosos envasados	110

	<u>Págs.</u>
3.4. Transporte y manipulación de sustancias sólidas	110
3.4.1. Construcción y regeneración de pilas.....	111
3.4.2. Dispositivos de carga y descarga	112
3.4.2.1. Fuentes de emisión generales en el transporte y la manipulación	113
3.4.2.2. Cucharas de almeja	115
3.4.2.3. Tolvas de descarga.....	117
3.4.2.4. Cubas.....	117
3.4.2.5. Transportadores por aspiración de aire	118
3.4.2.6. Dispositivos de carga móviles	120
3.4.2.7. Vaciado de vagones y camiones	120
3.4.2.8. Pozos de descarga	122
3.4.2.9. Tuberías de llenado	123
3.4.2.10. Conductos de llenado.....	124
3.4.2.11. Tubos en cascada	125
3.4.2.12. Rampas	126
3.4.2.13. Cintas lanzadoras	127
3.4.2.14. Cintas transportadoras	128
3.4.2.15. Elevador de cangilones	134
3.4.2.16. Cintas transportadoras de cadena.....	135
3.4.2.16.1. Transportadores de cadena en cubeta.....	136
3.4.2.16.2. Transportadores de rasquetas	137
3.4.2.17. Cintas transportadoras helicoidales.....	137
3.4.2.18. Transportadores de aire a presión.....	139
3.4.2.19. Alimentadores	140
3.4.3. Transporte y manipulación de productos envasados	141
4. TÉCNICAS A CONSIDERAR EN LA DETERMINACIÓN DE MTD	143
4.1. Almacenamiento de líquidos y gases licuados	143
4.1.1. Metodología de valoración de MCE para el almacenamiento de líquidos y gases licuados	143
4.1.2. MCE para tanques: aspectos generales	146
4.1.2.1. Diseño del tanque	146
4.1.2.2. Inspección, mantenimiento y control.....	147
4.1.2.2.1. Mantenimiento basado en fiabilidad y riesgos (MBFR).....	150
4.1.2.2.2. Inspecciones en servicio y fuera de servicio.....	151
4.1.2.2.3. Control.....	155
4.1.2.2.4. Técnicas de detección de gases	156
4.1.2.3. Ubicación y disposición.....	157
4.1.3. MCE para tanques – operativas – emisiones gaseosas.....	158
4.1.3.1. Principio de minimización de emisiones para almacenamiento en tanques	158
4.1.3.2. Cubiertas flotantes	159
4.1.3.3. Cubiertas flexibles o toldos	161
4.1.3.4. Cubiertas fijas o rígidas	162
4.1.3.5. Cúpulas.....	163
4.1.3.6. Color del tanque.....	165

	<u>Págs.</u>
4.1.3.7. Escudos solares	167
4.1.3.8. Enfriamiento natural de los tanques.....	168
4.1.3.9. Elementos de estanqueidad para techos flotantes externos e internos	169
4.1.3.9.1. Elementos de estanqueidad periféricos.....	169
4.1.3.9.2. Pozos fijos y guías	175
4.1.3.10. Techo flotante interno (TFI).....	179
4.1.3.11. Válvulas de alivio de presión y de vacío (VAPV).....	182
4.1.3.12. Sistemas de drenaje cerrados	183
4.1.3.13. Compensación de vapor.....	184
4.1.3.14. Depósitos para vapores: tanques de diafragma flexible.....	186
4.1.3.15. Tratamiento de gases	188
4.1.3.15.1. Oxidación térmica.....	193
4.1.3.15.2. Adsorción.....	194
4.1.3.15.3. Absorción ('lavado').....	196
4.1.3.15.4. Condensación	197
4.1.3.15.5. Separación a través de membranas.....	198
4.1.3.16. Compatibilidad (operativa) de las MCE para las emisiones de gas	199
4.1.4. MCE (operativas) para tanques: emisiones líquidas.....	202
4.1.4.1. Drenaje manual	202
4.1.4.2. Válvulas de drenaje de tanques semiautomáticas.....	203
4.1.4.3. Válvulas de drenaje de tanques automáticas	204
4.1.4.4. Sistemas especializados.....	205
4.1.5. MCE para tanques: residuos.....	206
4.1.5.1. Mezclado del contenido del tanque.....	206
4.1.5.2. Extracción de lodos	207
4.1.6. MCE para tanques: incidentes y accidentes (graves).....	208
4.1.6.1. Gestión de la seguridad y del riesgo.....	208
4.1.6.1.1. Procedimientos operativos y formación.....	210
4.1.6.1.2. Indicador de bajo nivel en TTFE.....	211
4.1.6.1.3. Fugas y sobrelLENADOS	212
4.1.6.1.4. Corrosión y erosión.....	212
4.1.6.1.5. Procedimientos operativos y formación para evitar sobrelLENADOS	214
4.1.6.1.6. Instrumentos y automatización para evitar sobrelLENADOS	215
4.1.6.1.7. Instrumentos y automatización para detectar fugas..	215
4.1.6.1.8. Aproximación basada en el riesgo para emisiones al suelo situado debajo de los tanques	219
4.1.6.1.9. Instalación de un doble fondo en tanques de superficie	222
4.1.6.1.10. Barreras impermeables situadas bajo tanques de superficie	224
4.1.6.1.11. Diques de contención y revestimientos para tanques	225
4.1.6.1.12. Contención mediante hormigón laminado bajo tanques de superficie	228

	<u>Págs.</u>
4.1.6.1.13. Tanques de superficie de doble pared	229
4.1.6.1.14. Tanques en forma de vaso.....	230
4.1.6.1.15. Tanques de superficie de doble pared con control de la descarga del fondo.....	232
4.1.6.1.16. Tanques de doble pared subterráneos.....	233
4.1.6.1.17. Tanques subterráneos de pared única con contención secundaria.....	234
4.1.6.2. Protección contra incendios, equipo de extinción y contención.....	234
4.1.6.2.1. Zonas inflamables y fuentes de ignición	234
4.1.6.2.2. Protección contra incendios	236
4.1.6.2.3. Equipo de lucha contra incendios.....	236
4.1.6.2.4. Contención de agente extintor contaminado	237
4.1.7. MCE para el almacenamiento de contenedores: incidentes y accidentes (graves).....	238
4.1.7.1. Gestión de la seguridad y del riesgo.....	238
4.1.7.2. Construcción y ventilación	240
4.1.7.3. Política de separación de sustancias	244
4.1.7.4. Política de separación y segregación de materiales incompatibles	247
4.1.7.5. Contención de fugas y agente extintor contaminado.....	249
4.1.7.6. Protección contra incendios y equipo antiincendios	250
4.1.7.6.1. Prevención de la ignición	251
4.1.7.6.2. Sistemas de extinción de incendios	253
4.1.8. MCE (operativas) para estanques y balsas: emisiones de gas	254
4.1.8.1. Cubiertas flotantes	254
4.1.8.2. Cubiertas de plástico o rígidas.....	255
4.1.9. MCE (operativas) para estanques y balsas: emisiones al suelo y al agua	256
4.1.9.1. Barreras impermeables	256
4.1.10.MCE (operativas) para estanques y balsas: residuos.....	256
4.1.11.MCE para estanques y balsas: incidentes y accidentes.....	256
4.1.11.1. Protección frente a sobrellenados provocados por la lluvia ..	257
4.1.12.MCE (operativas) para cavidades excavadas (atmosféricas): emisiones de gas	257
4.1.12.1. Compensación de vapor.....	257
4.1.13.MCE para cavidades excavadas (atmosféricas): incidentes y accidentes (graves).....	258
4.1.13.1. Gestión de la seguridad y del riesgo.....	258
4.1.13.2. Control.....	258
4.1.13.3. Seguridad intrínseca.....	259
4.1.13.4. Inertización	259
4.1.13.5. Mantenimiento de la presión hidrostática	260
4.1.13.6. Inyección de cemento.....	261
4.1.13.7. Sistema de bloqueo	261
4.1.13.8. Protección automatizada frente a sobrellenados	262

	<u>Págs.</u>
4.1.14.MCE para cavidades excavadas (presurizadas): incidentes y accidentes (graves).....	263
4.1.14.1. Gestión de la seguridad y del riesgo.....	263
4.1.14.2. Seguimiento.....	263
4.1.14.3. Seguridad intrínseca.....	263
4.1.14.4. Válvulas de seguridad	264
4.1.14.5. Mantenimiento de la presión hidrostática	264
4.1.14.6. Inyección de cemento.....	264
4.1.14.7. Sistema de bloqueo	264
4.1.14.8. Protección automatizada frente a sobrelLENADOS	264
4.1.15.MCE para cavidades salinas lixiviadas: incidentes y accidentes (graves).....	264
4.1.15.1. Gestión de la seguridad y del riesgo.....	264
4.1.15.2. Control.....	265
4.1.15.3. Seguridad intrínseca.....	265
4.1.16. MCE (operativas) para el almacenamiento flotante: emisiones de gas....	266
4.1.16.1. Válvula de alivio de presión y de vacío (VAPV).....	266
4.1.16.2. Color del tanque.....	266
4.1.16.3. Compensación, recogida y tratamiento de vapores	266
4.1.17. MCE (operativas) para el almacenamiento flotante: emisiones al agua..	266
4.1.18. MCE para el almacenamiento flotante: incidentes y accidentes (graves) ..	266
4.1.18.1. Gestión de la seguridad y del riesgo.....	266
4.1.18.2. Inspección y mantenimiento del casco	267
4.1.18.3. Prevención de sobrelLENADOS	267
4.2. Transporte y manipulación de líquidos y gas licuado	267
4.2.1. Herramientas de gestión para el transporte y la manipulación	268
4.2.1.1. Procedimientos operativos y formación.....	268
4.2.1.2. Inspección, mantenimiento y seguimiento	268
4.2.1.3. Programa de detección y reparación de fugas (DYRF).....	268
4.2.1.4. Gestión de la seguridad y del riesgo.....	268
4.2.2. MCE (operativas) para tuberías de superficie cerradas: emisiones de gas	269
4.2.2.1. Reducción del número de bridas y conectores.....	269
4.2.2.2. Elección y mantenimiento de las juntas	270
4.2.2.3. Bridas mejoradas	273
4.2.2.4. Recogida del vapor.....	273
4.2.3. MCE para tuberías de superficie cerradas: incidentes y accidentes (graves).....	273
4.2.3.1. Corrosión interna y erosión.....	273
4.2.3.2. Corrosión externa: tuberías de superficie	274
4.2.4. MCE (operativas) para tuberías de superficie abiertas: emisiones de gas.	274
4.2.4.1. Sustitución por sistemas de canalización cerrados	274
4.2.4.2. Limitación de la longitud	275
4.2.5. MCE para tuberías de superficie abiertas: incidentes y accidentes (graves).....	275
4.2.6. MCE (operativas) para tuberías subterráneas: emisiones de gas.....	275

	<u>Págs.</u>
4.2.7. MCE para tuberías subterráneas: incidentes y accidentes (graves)...	276
4.2.7.1. Corrosión externa: tuberías subterráneas	276
4.2.8. MCE para la carga y descarga de dispositivos de transporte.....	277
4.2.8.1. Compensación de vapor durante la carga y descarga de los dispositivos de transporte.....	277
4.2.8.2. Tratamiento del vapor durante la descarga de los dispositivos de transporte	279
4.2.9. MCE (operativas) para sistemas de manipulación de productos: emisiones de gas	281
4.2.9.1. Equipo de alta calidad.....	281
4.2.9.2. Eliminación de tuberías con extremo abierto y válvulas	282
4.2.9.3. Válvulas de fuelle	283
4.2.9.4. Válvulas de diafragma.....	283
4.2.9.5. Válvulas de control rotativas	284
4.2.9.6. Bombas de velocidad variable.....	285
4.2.9.7. Válvulas de doble pared	285
4.2.9.8. Válvulas de alivio de presión y la temperatura	286
4.2.9.9. Bombas de no sellado	287
4.2.9.10. Juntas individuales mejoradas para bombas.....	288
4.2.9.11. Juntas duales no presurizadas para bombas.....	290
4.2.9.12. Juntas duales presurizadas para bombas.....	291
4.2.9.13. Juntas para compresores.....	292
4.2.9.14. Conexiones de muestreo mejoradas.....	292
4.2.10. MCE para los sistemas de manipulación de producto: incidentes y accidentes (graves)	293
4.2.10.1. Conexiones bridadas en pozos impermeables	293
4.3. Almacenamiento de sólidos	293
4.3.1. Medidas de control de las emisiones (MCE) generales	293
4.3.2. Métodos generales para minimizar el polvo durante el almacenamiento.....	294
4.3.3. Métodos organizativos primarios para minimizar el polvo generado durante el almacenamiento	296
4.3.3.1. Seguimiento de las emisiones de polvo generadas por el almacenamiento al aire libre	296
4.3.4. Técnicas constructivas primarias para minimizar las emisiones de polvo durante el almacenamiento.....	297
4.3.4.1. Silos de gran volumen	297
4.3.4.2. Hangares o tejados	298
4.3.4.3. Bóvedas.....	300
4.3.4.4. Cubiertas autoinstalables	300
4.3.4.5. Silos y tolvas	301
4.3.5. Técnicas para la prevención/reducción de las emisiones de polvo y medidas utilizadas para el almacenamiento al aire libre.....	303
4.3.6. Técnicas primarias de minimización del polvo generado durante el almacenamiento.....	306
4.3.6.1. Aspersión de agua con o sin aditivos.....	306
4.3.6.2. Métodos de protección frente al viento.....	308

	<u>Págs.</u>
4.3.6.3. Lonas impermeables o redes	310
4.3.7. Técnicas secundarias de minimización del polvo generado durante el almacenamiento: filtros de polvo en silos y tolvas	310
4.3.8. Medidas de prevención de incidentes y accidentes (graves)	312
4.3.8.1. Gestión de la seguridad y del riesgo.....	312
4.3.8.2. Incendios en almacenes para materiales sólidos.....	313
4.3.8.3. Silos resistentes a las explosiones	314
4.3.8.4. Válvulas de seguridad	315
4.3.9. Lixiviación al suelo o a las aguas superficiales	315
4.4. Manipulación de sólidos	316
4.4.1. Medidas de control de las emisiones (MCE) generales	316
4.4.2. Métodos generales para minimizar el polvo durante la manipulación	317
4.4.3. Métodos organizativos primarios para minimizar el polvo generado durante la manipulación.....	320
4.4.3.1. Condiciones climáticas	320
4.4.3.2. Medidas cuando se utiliza una cuchara de almeja.....	321
4.4.3.3. Medidas (a cargo del operador) cuando se utiliza una cinta transportadora.....	322
4.4.3.4. Medidas (a cargo del operador) cuando se utiliza una pala mecánica.....	322
4.4.3.5. Disposición y funcionamiento de los lugares de almacenamiento (a cargo del personal de explotación y planificación) ..	323
4.4.3.5.1. Reducir el transporte discontinuo y las distancias de transporte.....	323
4.4.3.5.2. Ajustar la velocidad de los vehículos.....	324
4.4.3.5.3. Carreteras de firme duro.....	325
4.4.4. Técnicas constructivas primarias para minimizar el polvo generado durante la carga y la descarga	325
4.4.4.1. Carga y descarga en edificios cerrados.....	325
4.4.5. Técnicas primarias para minimizar el polvo generado durante la manipulación	326
4.4.5.1. Cucharas de almeja optimizadas	326
4.4.5.2. Transportadores cerrados.....	327
4.4.5.3. Cintas transportadoras sin poleas de apoyo	329
4.4.5.3.1. Cintas sobre colchón de aire	330
4.4.5.3.2. Cinta transportadora de baja fricción	330
4.4.5.3.3. Cintas transportadoras con diábolos.....	331
4.4.5.4. Medidas primarias para cintas transportadoras convencionales.....	332
4.4.5.5. Medidas primarias para las rampas de transporte (por ejemplo de cintas transportadoras).....	333
4.4.5.6. Minimizar la velocidad de descenso del material cargado....	334
4.4.5.7. Minimización de las alturas de caída libre	335
4.4.5.8. Pozos de descarga dotados de barreas de polvo.....	335
4.4.5.9. Depósitos de reducción del polvo	335
4.4.5.10. Chasis de vehículos con extremidades redondeadas	337

	<u>Págs.</u>
4.4.6. Técnicas secundarias para minimizar el polvo generado durante la manipulación	337
4.4.6.1. Pantallas para cintas transportadoras abiertas	337
4.4.6.2. Confinar o cubrir las fuentes de emisión	338
4.4.6.3. Colocar coberturas, fundas o tapones en los tubos de llenado	339
4.4.6.4. Sistemas de extracción	339
4.4.6.5. Filtros de láminas para transportadores mecánicos	340
4.4.6.6. Pozos de descarga con equipos de aspiración, cubierta y barreras contra la emisión de polvo	341
4.4.6.7. Tolvas de descarga optimizada (en los puertos)	342
4.4.6.8. Técnicas de aspersión de agua/cortinas de agua	343
4.4.6.9. Aspersión de agua a presión	344
4.4.6.10. Limpieza de las cintas transportadoras	345
4.4.6.11. Equipar los camiones con aletas mecánicas/hidráulicas	347
4.4.6.12. Limpiar las carreteras	347
4.4.6.13. Limpiar los neumáticos de los vehículos	348
4.4.7. Medidas para prevenir las emisiones generadas al manipular productos embalados	350
4.4.8. Gestión de la seguridad y del riesgo al manipular sólidos	350
5. MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES	351
5.1. Almacenamiento de líquidos y gases licuados	353
5.1.1. Tanques	353
5.1.1.1. Principios generales de prevención y reducción de las emisiones	353
5.1.1.2. Consideraciones específicas para los tanques	355
5.1.1.3. Prevención de incidentes y accidentes (graves)	361
5.1.2. Almacenamiento de sustancias peligrosas embaladas	365
5.1.3. Estanques y balsas	367
5.1.4. Cavidades excavadas atmosféricas	368
5.1.5. Cavidades excavadas a presión	369
5.1.6. Cavidades salinas lixiviadas	370
5.1.7. Almacenamiento flotante	371
5.2. Transporte y manipulación de líquidos y gases licuados	371
5.2.1. Principios generales para evitar y reducir las emisiones	371
5.2.2. Consideraciones sobre las técnicas de transporte y manipulación	372
5.2.2.1. Tuberías	372
5.2.2.2. Tratamiento del vapor	373
5.2.2.3. Válvulas	373
5.2.2.4. Bombas y compresores	373
5.2.2.5. Conexiones de muestreo	375
5.3. Almacenamiento de sólidos	375
5.3.1. Almacenamiento al aire libre	375
5.3.2. Almacenamiento confinado	376
5.3.3. Almacenamiento de sólidos peligrosos embalados	377
5.3.4. Prevención de incidentes y accidentes (graves)	377
5.4. Transferencia y manipulación de los sólidos	377

	<u>Págs.</u>
5.4.1. Propuestas generales para minimizar el polvo generado durante la transferencia y la manipulación.....	377
5.4.2. Consideraciones sobre las técnicas de transferencia.....	379
6. NUEVAS TÉCNICAS.....	383
6.1. Manipulación de sólidos	383
6.1.1. Tornillo sin fin	383
6.1.2. Contenedores de transbordo de baja emisión de polvo sin extracción por presión negativa.....	384
6.1.3. Tornillos sin fin para minerales y concentrados no féreos.....	386
7. CONSIDERACIONES FINALES.....	387
7.1. Calendario de trabajo	387
7.2. Fuentes de información	387
7.3. Grado de consenso alcanzado.....	388
7.4. Recomendaciones para próximos trabajos.....	390
7.5. Temas propuestos para próximos proyectos de I+D.....	392
REFERENCIAS	393
GLOSARIO	399
8. ANEXOS	407
8.1. Códigos internacionales.....	407
8.2. Sustancias peligrosas y su clasificación	450
8.3. Compatibilidad de las sustancias peligrosas	491
8.4. Clases de dispersión de los graneles sólidos	492
8.5. Graneles sólidos relevantes.....	500
8.6. Resumen de los requisitos de los Estados miembros en cuanto a los métodos y equipos de almacenamiento subterráneo de líquidos	502
8.7. Métodos de almacenamiento y graneles sólidos relevantes.....	503
8.8. Técnicas de manipulación y graneles sólidos relevantes	504
8.9. Fichas operativas de MCE para el almacenamiento de líquidos y gas licuado...	506
8.10. Fichas de MCE para la transferencia y manipulación de líquidos y gases licuados	523
8.11. Metodología para rellenar la tabla de evaluación de MCE.....	529
8.12. Tabla de evaluación de las medidas de control de las emisiones para gases y líquidos	534
8.13. Estudio de casos para la metodología de evaluación de las MCE	536
8.13.1. Caso de estudio número 1: TTFE ya instalado.....	536
8.13.2. Caso de estudio número 2: TTF nuevo.....	542
8.13.3. Caso de estudio número 2a: TTF nuevo.....	546
8.13.4. Caso de estudio número 3: TTF nuevo.....	550
8.13.5. Caso de estudio número 4: TTF nuevo.....	554
8.14. Fichas de MCE para el almacenamiento de sólidos	561
8.15. Fichas de MCE para la manipulación de sólidos.....	566
8.16. Características de los sistemas antiincendio	572
8.17. Distancias para el almacenamiento de bombonas de gas	575

	<u>Págs.</u>
8.18. Ejemplos de las distancias aplicadas al almacenamiento de líquidos inflamables en tanques	579
8.19. Lista típica de puntos que hay que tener en cuenta en el diseño de tanques para el almacenamiento de productos en una planta química	581
8.20. Eficiencia de un TTFE dependiendo del número de ciclos de llenado por año y tanque	584
8.21. Eficiencia de un TTFE dependiendo de la cantidad de renovaciones por año y del diámetro del tanque para crudo y gasolina	585
8.22. Eficiencia de los diferentes tipos de elementos de estanquidad de techo flotante	586
8.23. Eficiencia de un TTFI dependiendo del número de ciclos de llenado por año y el diámetro del tanque.....	587

LISTA DE TABLAS

	<u>Págs.</u>
Tabla 1: Métodos y técnicas para reducir las emisiones de polvo generadas por el almacenamiento de sólidos	VII
Tabla 2: Métodos y técnicas para reducir las emisiones de polvo generadas por el transporte y manipulación de sólidos	VIII
Tabla 2.1: Categorías de sustancias peligrosas según la Directiva 67/548/CEE...	7
Tabla 3.1: Referencias cruzadas de sistemas de almacenamiento para líquidos y fases licuados	11
Tabla 3.2: Referencias cruzadas para tanques de techo abierto.....	15
Tabla 3.3: Posibles emisiones a la atmósfera procedentes de fuentes operativas con tanques de techo abierto	15
Tabla 3.4: Posibles emisiones líquidas al agua o residuos procedentes de fuentes operativas con tanques de techo abierto	15
Tabla 3.5: Referencias cruzadas para TTFE.....	18
Tabla 3.6: Posibles emisiones a la atmósfera procedentes de fuentes operativas con TTFE	19
Tabla 3.7: Posibles emisiones líquidas al agua o residuos procedentes de fuentes operativas con TTFE.....	19
Tabla 3.8: Especificaciones de diseño de diferentes tipos de tanques de techo fijo.....	21
Tabla 3.9: Referencias cruzadas para tanques de techo fijo	22
Tabla 3.10: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas de TTF.....	22
Tabla 3.11: Posibles emisiones líquidas al agua o residuos de fuentes operativas de TTF	23
Tabla 3.12: Referencias cruzadas para tanques horizontales de superficie.....	24
Tabla 3.13: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en tanques horizontales de superficie	25
Tabla 3.14: Posibles emisiones al agua o residuos de fuentes operativas en tanques horizontales de superficie	25
Tabla 3.15: Referencias cruzadas para los tanques horizontales presurizados.....	27
Tabla 3.16: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en tanques horizontales presurizados	27
Tabla 3.17: Posibles emisiones líquidas al agua o residuos de fuentes operativas en tanques horizontales presurizados.....	28
Tabla 3.18: Referencias cruzadas para equipos para tanques y accesorios de tanques verticales presurizados	29

	<u>Págs.</u>
Tabla 3.19: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas con tanques verticales presurizados	30
Tabla 3.20: Posibles emisiones de líquidos al agua o residuos de fuentes operativas en tanques verticales presurizados	30
Tabla 3.21: Referencias cruzadas para tanques esféricos presurizados.....	31
Tabla 3.22: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en tanques esféricos presurizados	31
Tabla 3.23: Posibles emisiones de líquidos al agua o residuos de fuentes operativas en tanques esféricos presurizados.....	32
Tabla 3.24: Referencias cruzadas para tanques cubiertos de tierra	34
Tabla 3.25: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en tanques cubiertos de tierra	34
Tabla 3.26: Posibles emisiones de líquidos al agua o residuos de fuentes operativas en tanques cubiertos de tierra.....	35
Tabla 3.27: Referencias cruzadas para tanques de techo levadizo.....	36
Tabla 3.28: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en tanques de techo levadizo	36
Tabla 3.29: Posibles emisiones de líquidos al agua o residuos de fuentes operativas en tanques de techo levadizo.....	37
Tabla 3.30: Referencias cruzadas para tanques refrigerados	39
Tabla 3.31: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en tanques refrigerados.....	40
Tabla 3.32: Posibles emisiones de líquidos al agua o residuos de fuentes operativas en tanques de refrigerados	40
Tabla 3.33: Referencias cruzadas para tanques horizontales subterráneos	42
Tabla 3.34: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en tanques horizontales subterráneos.....	42
Tabla 3.35: Posibles emisiones de líquidos al agua y residuos de fuentes operativas en tanques horizontales subterráneos	43
Tabla 3.36: Elementos a considerar para los costes de un tanque	43
Tabla 3.37: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en estanques y balsas	64
Tabla 3.38: Posibles emisiones al agua o residuos de fuentes operativas en estanques y balsas	64
Tabla 3.39: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en cavidades excavadas atmosféricas de lecho fijo.....	72
Tabla 3.40: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en cavidades excavadas atmosféricas de lecho variable	72

	<u>Págs.</u>
Tabla 3.41: Posibles emisiones al agua o residuos de fuentes operativas en cavidades excavadas atmosféricas.....	72
Tabla 3.42: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en cavidades excavadas a presión	75
Tabla 3.43: Posibles emisiones al agua o residuos de fuentes operativas en cavidades excavadas a presión	75
Tabla 3.44: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en cavidades salinas lixiviadas.....	78
Tabla 3.45: Posibles emisiones al agua o residuos de fuentes operativas en cavidades salinas lixiviadas.....	78
Tabla 3.46: Referencias cruzadas para el almacenamiento flotante	79
Tabla 3.47: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en almacenamiento flotante	79
Tabla 3.48: Posibles emisiones al agua o residuos de fuentes operativas en almacenamiento flotante	80
Tabla 3.49: Referencias cruzadas de transporte y manipulación de líquidos y gases licuados	80
Tabla 3.50: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en sistemas de transporte por tuberías de superficie cerradas	84
Tabla 3.51: Posibles emisiones de líquidos al suelo y aguas superficiales de fuentes operativas en sistemas de transporte por tuberías de superficie cerradas..	84
Tabla 3.52: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en sistemas de transporte por tuberías de superficie abiertas	85
Tabla 3.53: Posibles emisiones de líquidos al suelo y aguas superficiales de fuentes operativas en sistemas de transporte por tuberías de superficie abiertas.	85
Tabla 3.54: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en sistemas de transporte por tuberías subterráneas.....	87
Tabla 3.55: Posibles emisiones de líquidos al suelo y aguas superficiales de fuentes operativas en sistemas de transporte por tuberías subterráneas.....	87
Tabla 3.56: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas con mangueras flexibles o brazos de carga	90
Tabla 3.57: Posibles emisiones de líquidos al suelo o aguas superficiales de fuentes operativas con mangueras flexibles o brazos de carga	90
Tabla 3.58: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en la manipulación del producto	92
Tabla 3.59: Posibles emisiones de líquidos al suelo o aguas superficiales de fuentes operativas en la manipulación del producto.....	92
Tabla 3.60: Emisiones promedio procedentes de elementos de estanqueidad en bombas de procesamiento en la manipulación de aceites minerales....	103

	<u>Págs.</u>
Tabla 3.61: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en el transporte y manipulación de productos envasados.....	106
Tabla 3.62: Posibles emisiones líquidas al suelo y a aguas superficiales de fuentes operativas en el transporte y manipulación de productos envasados ..	107
Tabla 3.63: Modos de almacenamiento para sólidos y referencia a los apartados en que se comentan	107
Tabla 3.64: Criterios de selección de formas de almacenamiento longitudinales o anulares	108
Tabla 3.65: Técnicas para el transporte y manipulación de sólidos, con referencia a los apartados en los que se comentan.....	111
Tabla 3.66: Técnicas habituales de construcción de pilas.....	112
Tabla 3.67: Resumen de vagones y camiones habituales para materiales a granel..	121
Tabla 4.1: Factores de pintura.....	165
Tabla 4.2: Reflectancia de radiación térmica de diferentes colores de tanque	166
Tabla 4.3: Tecnologías de tratamiento de las emisiones: limitaciones de aplicabilidad y costes normalizados según constan en el BREF CWW	190
Tabla 4.4: Sustancias tratadas en una instalación de tratamiento de gases	193
Tabla 4.5: Compatibilidad de MCE	200
Tabla 4.6: MCE posibles según el modo de almacenamiento	201
Tabla 4.7: Sistema de puntuaciones para determinar el nivel de riesgo de emisiones al suelo.....	221
Tabla 4.8: Definición de zonas.....	235
Tabla 4.9: Principales contextos relativos al almacenamiento de materiales peligrosos embalados	239
Tabla 4.10: Distancias de separación mínimas en caso de almacenamiento exterior de líquidos inflamables	244
Tabla 4.11: Distancias de separación mínimas de un almacén exterior para sustancias peligrosas	246
Tabla 4.12: Métodos y técnicas para reducir las emisiones de polvo generadas durante el almacenamiento y los apartados en que aparecen	295
Tabla 4.13: Métodos de reducción del polvo en almacenes al aire libre y sus limitaciones.....	304
Tabla 4.14: Materiales presentes en los 290 incendios	313
Tabla 4.15: Fuentes de ignición	314
Tabla 4.16: Métodos y técnicas para reducir las emisiones de polvo generadas durante la carga y la descarga	319

	<u>Págs.</u>
Tabla 4.17: Comparación de las diferentes cintas transportadoras cerradas.....	328
Tabla 4.18: Reducción de las emisiones en los depósitos número 3 y 4	336
Tabla 4.19: Eficacia de distintos sistemas barredores/regadores	348
Tabla 8.1: Asignación de las actividades industriales según el anexo I de la Directiva IPPC para los graneles sólidos relevantes.....	501
Tabla 8.2: Resumen de los requisitos de los Países miembros relativos a los tanques subterráneos	502
Tabla 8.3: Métodos de almacenamiento y graneles relevantes.....	503
Tabla 8.4: Técnicas de carga y descarga y graneles relevantes.....	504
Tabla 8.5: Fichas de MCE para emisiones operativas. Tanques de techo abierto para almacenamiento de superficie	506
Tabla 8.6: Fichas de MCE para emisiones operativas. Almacenamiento atmosférico de superficie: Tanque de techo flotante externo.....	507
Tabla 8.7: Fichas de MCE para emisiones operativas. Almacenamiento atmosférico de superficie: Tanque de techo fijo.	509
Tabla 8.8: Fichas de MCE para emisiones operativas. Almacenamiento atmosférico de superficie: Tanque horizontal.	511
Tabla 8.9: Fichas de MCE para emisiones operativas. Almacenamiento de superficie a presión: Esferas.	513
Tabla 8.10: Fichas de MCE para emisiones operativas. Almacenamiento de superficie a presión: Tanque horizontal.....	514
Tabla 8.11: Fichas de MCE para emisiones operativas. Almacenamiento refrigerado de superficie.....	515
Tabla 8.12: Fichas de MCE para emisiones operativas. Tanques subterráneos.	516
Tabla 8.13: Fichas de MCE para emisiones operativas. Almacenamiento atmosférico en cavidades	517
Tabla 8.14: Fichas de MCE para emisiones operativas. Almacenamiento atmosférico en minas de sal.....	518
Tabla 8.15: Fichas de MCE para emisiones operativas. Almacenamiento a presión en cavidades	519
Tabla 8.16: Fichas de MCE para emisiones operativas. Balsas y estanques	520
Tabla 8.17: Fichas de MCE para emisiones operativas. Almacenamiento flotante.	521
Tabla 8.18: Fichas de MCE para emisiones operativas. Tanque de techo levadizo. .	522
Tabla 8.19: Fichas de MCE para emisiones operativas. Sistemas de transferencia por superficie: Tuberías cerradas.....	523
Tabla 8.20: Fichas de MCE para emisiones operativas. Sistemas de transferencia por superficie: Tuberías abiertas.....	525

	<u>Págs.</u>
Tabla 8.21: Fichas de MCE para emisiones operativas. Sistemas subterráneos de transferencia: Tuberías cerradas.	526
Tabla 8.22: Fichas de MCE para emisiones operativas. Métodos de manipulación de productos: bombas y compresores.	528
Tabla 8.23: Caso de estudio número 1 - Evaluación inicial de las MCE.....	558
Tabla 8.24: Caso de estudio 1 - Segunda ronda de evaluación de las MCE.....	558
Tabla 8.25: Caso de estudio número 2 - Evaluación de la MCE inicial	559
Tabla 8.26: Caso de estudio número 2a - Evaluación de la MCE inicial	559
Tabla 8.27: Caso de estudio número 3 - Evaluación de la MCE inicial	560
Tabla 8.28: Caso de estudio número 4 - Evaluación de la MCE inicial	560
Tabla 8.29: Ficha de MCE para el almacenamiento de sólidos	562
Tabla 8.30: Ficha de MCE para la manipulación de sólidos.....	567
Tabla 8.31: Distancias para el almacenamiento confinado de bombonas de gas.....	575
Tabla 8.32: Distancias para el almacenamiento al aire libre de bombonas de gas.	577
Tabla 8.33: Distancias aplicadas en los Países Bajos para el almacenamiento en superficie de K_1 , K_2 , K_3 y crudo	579
Tabla 8.34: Distancias aplicadas en el Reino Unido para el almacenamiento en superficie de líquidos inflamables en tanques de gran tamaño	580

LISTA DE FIGURAS

	<u>Págs.</u>
Figura 3.1: Diagrama de flujo con las potenciales emisiones procedentes de instalaciones de almacenamiento superficiales y subterráneas.....	12
Figura 3.2: Matriz de riesgos para emisiones procedentes del almacenamiento de líquidos y gases licuados.....	12
Figura 3.3: Ejemplo de un tanque de purines de techo abierto con un pozo de recepción subterráneo	14
Figura 3.4: Tanque típico de techo flotante con pontón	17
Figura 3.5: Tanque típico de techo flotante con techo de doble plataforma	17
Figura 3.6: Tanque de techo fijo vertical con algunos equipos de control de emisiones instalados	20
Figura 3.7: Ejemplo típico de tanque de techo fijo	20
Figura 3.8: Tanque horizontal de superficie con algunos equipos de control de las emisiones	24
Figura 3.9: Tanques horizontales presurizados con algunos equipos de control de emisiones	26
Figura 3.10: Tanque vertical presurizado con algunos equipos de control de emisiones	29
Figura 3.11: Tanques cubiertos de tierra.....	33
Figura 3.12: Ejemplo típico de un tanque refrigerado de contención simple	38
Figura 3.13: Ejemplo típico de un tanque refrigerado de contención doble	38
Figura 3.14: Ejemplo típico de un tanque refrigerado de contención completa	39
Figura 3.15: Tanque subterráneo de doble muro con algunos equipos de control de emisiones	41
Figura 3.16: Posibles ubicaciones de almacenamiento de materiales peligrosos en contenedores	59
Figura 3.17: Ejemplo de una balsa de purines con banco de tierra y características del diseño	63
Figura 3.18: Ilustración esquemática de una cavidad con lecho freático fijo	65
Figura 3.19: Ilustración esquemática de una cavidad con lecho freático variable....	66
Figura 3.20: Ilustración esquemática de una cavidad presurizada y de una cavidad refrigerada para el almacenamiento de GLP	67
Figura 3.21: Costes de inversión relativos para almacenamiento de petróleo en tanques de superficie y cavidades excavadas sin revestimiento en una refinería de Finlandia	69

	<u>Págs.</u>
Figura 3.22: Costes de inversión relativos para alternativas de almacenamiento de GLP en una refinería de Finlandia	69
Figura 3.23: Esquema de una sala de bombas seca en la parte inferior de las cavidades.....	71
Figura 3.24: Almacenamiento subterráneo de GLP con ejes de operación con instrumentación	74
Figura 3.25: Ejemplo de una cavidad salina lixiviada en funcionamiento.....	77
Figura 3.26: Diagrama de flujo de las posibles emisiones provocadas por las instalaciones de transporte y manipulación.....	81
Figura 3.27: Matriz de riesgos para las emisiones procedentes del transporte y manipulación de líquidos y gases licuados	82
Figura 3.28: Ejemplo de sistema de descarga a granel y almacenamiento para disolventes clorados.....	89
Figura 3.29: Diferentes formas de pilas.....	109
Figura 3.30: Cuchara de dos cuencos	115
Figura 3.31: Diferentes formas de los bordes de la cuchara.....	116
Figura 3.32: Diferentes tipos de cubas.....	118
Figura 3.33: Principio de funcionamiento de un transportador por aspiración de aire ..	119
Figura 3.34: Volquetes	122
Figura 3.35: Pozo de descarga con aspiración y barrera de polvo.....	123
Figura 3.36: Cargador de embarcaciones con tubería de llenado.....	123
Figura 3.37: Conducto de llenado	124
Figura 3.38: Tubo en cascada	125
Figura 3.39: Carga de un vagón mediante una rampa	126
Figura 3.40: Cinta lanzadora	127
Figura 3.41: Cinta lanzadora utilizada para la construcción de pilas	128
Figura 3.42: Cinta transportadora convencional.....	129
Figura 3.43: Esquema de una cinta transportadora inclinada.....	129
Figura 3.44: Ejemplos de cintas transportadoras colgantes.....	130
Figura 3.45: Diferentes tipos de cintas transportadoras de tubo.....	131
Figura 3.46: Ejemplo de cinta transportadora doble.....	132
Figura 3.47: Ejemplos de cintas transportadoras plegadas.....	133
Figura 3.48: Transportador de cremallera.....	133
Figura 3.49: Esquema y principio de funcionamiento de un elevador de cangilones	134

	<u>Págs.</u>
Figura 3.50: Descargador continuo de embarcaciones con elevador de cangilones y pie en forma de L	135
Figura 3.51: Esquema de un transportador de cadena en cubeta.....	137
Figura 3.52: Esquema de una cinta transportadora helicoidal de cubeta.....	138
Figura 3.53: Principio de funcionamiento de un transportador de aire a presión	139
Figura 3.54: Tipos de alimentadores.....	141
Figura 4.1: Tanque de techo flotante externo equipado con una cúpula de aluminio geodésica	164
Figura 4.2: Elementos de estanqueidad de contacto gaseoso (característicos).....	170
Figura 4.3: Esquemas de un elemento de estanqueidad de contacto líquido (izquierda) y un elemento de estanqueidad de contacto con espuma (derecha)	170
Figura 4.4: Elementos de estanqueidad con zapata mecánica y contacto líquido (característicos)	171
Figura 4.5: Junta de zapata mecánica de contacto líquido y junta secundaria periférica (característicos)	172
Figura 4.6: Emisiones generadas por los pozos fijos	176
Figura 4.7: Diseño para reducir las emisiones generadas por los pozos fijos.....	177
Figura 4.8: Diseño con camisa de tela para reducir las emisiones generadas por los pozos fijos	178
Figura 4.9: Tanques de doble pared JPM, sistema patentado	230
Figura 4.10: Ejemplo de tanque en forma de vaso	231
Figura 4.11: Tanque de doble pared con la salida en la parte inferior y válvula de doble pared patentada	233
Figura 4.12: Esquema general de un área de almacenamiento externo para contenedores	240
Figura 4.13: Ejemplo de edificio de almacenamiento externo resistente al fuego	241
Figura 4.14: Ejemplo de un edificio de almacenamiento interno	241
Figura 4.15: Distancias de separación para líquidos muy inflamables almacenados en bidones o contenedores similares en el exterior (vista superior)....	245
Figura 4.16: Esquema de una válvula de doble pared patentada	286
Figura 4.17: Ejemplos de hangares	299
Figura 4.18: Ejemplo de bóveda.....	300
Figura 4.19: Formación de costra en la superficie de una pila de almacenamiento ...	307
Figura 4.20: El rociado uniforme tiene una importancia capital para la formación de una costra adecuada.....	308

	<u>Págs.</u>
Figura 4.21: Ejemplo de válvula de seguridad (diseño patentado)	315
Figura 4.22: Diagrama de toma de decisiones para que los operadores de grúa eviten la acumulación de polvo	322
Figura 4.23: Cómo prevenir la acumulación de polvo al utilizar una pala mecánica	323
Figura 4.24: Cucharas cerradas con abertura en forma de tolva (vista frontal y lateral).....	327
Figura 4.25: Cinta transportadora de baja fricción.....	331
Figura 4.26: Cinta transportadora con diábolos.....	332
Figura 4.27: Emisiones de polvo generadas por depósitos de distinta estructura	336
Figura 4.28: Emisiones de polvo detalladas generadas por el depósito número 4....	336
Figura 4.29: Tipo de estructuras de las carcasas	338
Figura 4.30: Cobertura y extracción en un punto de transporte de la cinta	340
Figura 4.31: Elevador rotativo que recoge el material que cae de la cinta transportadora	346
Figura 4.32: Piscina de agua en combinación con agua corriente para limpiar la superficie de rodadura de los neumáticos.....	349
Figura 8.1: Vagones empleados en Alemania para el transporte de graneles sólidos.....	505

ÁMBITO DE APLICACIÓN

Este documento horizontal de referencia (BREF) de las mejores técnicas disponibles (MTD), titulado «Emisiones generadas por el almacenamiento», se ocupa del almacenamiento y del transporte y manipulación de líquidos, gases licuados y sólidos, independientemente del sector o la industria.

El BREF considera emisiones a la atmósfera, al suelo y al agua. Sin embargo, se estudian principalmente las emisiones a la atmósfera. Las cuestiones energéticas y acústicas también se consideran, aunque con menor detalle.

De los siguientes modos de almacenamiento aplicados en el almacenamiento de líquidos y gases licuados se ofrece una breve descripción y se identifican sus principales fuentes de emisión:

Tanques:

- tanques de techo abierto,
- tanques de techo flotante externo,
- tanques de techo fijo,
- tanques horizontales de superficie (atmosféricos),
- tanques horizontales (a presión),
- tanques verticales (a presión),
- tanques esféricos (a presión),
- tanques cubiertos de tierra (a presión),
- tanques de techo levadizo (espacio de vapor variable),
- tanques refrigerados,
- tanques horizontales subterráneos.

Otros modos de almacenamiento:

- contenedores y almacenamiento de contenedores,
- estanques y balsas,
- cavidades excavadas,
- cavidades salinas lixiviadas,
- almacenamiento flotante.

Además, para el almacenamiento de sólidos en particular:

- pilas,
- sacos y bolsas a granel,
- silos y depósitos,
- sólidos peligrosos empaquetados.

En relación con el transporte y manipulación de líquidos y gases licuados, se describen técnicas como los sistemas de canalización y tuberías y equipos de carga y descarga, como válvulas, bombas, compresores, bridas y juntas, etc.

Para el transporte y manipulación de sólidos, se describen técnicas como dispositivos móviles de descarga, cucharas de almeja, pozos de descarga, tubos de llenado, cintas lanzadoras, transportadores y alimentadores; en cada caso se identifican las fuentes de emisiones.

Para todas las fuentes significantes de emisiones procedentes del almacenamiento y del transporte y manipulación de líquidos y gases licuados, se describen técnicas de reducción de las emisiones, como herramientas y técnicas de gestión (p. ej. bancales, tanques de doble muro, instrumentación para el control de nivel, sistemas de estanqueidad, tratamiento de los gases y protección contra incendios).

La información acerca de las emisiones a la atmósfera procedentes del almacenamiento y de la manipulación y transporte de sólidos se centra en el polvo. Se describen las técnicas para evitar o reducir el polvo, como por ejemplo aspersión de agua, cubiertas, almacenamiento e instalaciones de manipulación cerradas, además de algunas herramientas operativas.

El almacenamiento y manipulación de gases también forma parte del ámbito de este documento; sin embargo no se describe más en este documento ya que no se recibió información. La principal razón es que, en la mayoría de casos, los gases se almacenan bajo presión en forma de gases licuados. El almacenamiento y manipulación de los gases licuados se describe junto con el de los líquidos, ya que en ambos se aplican técnicas similares.

1. Información general

[18, UBA, 1999]

El almacenamiento es una actividad que se realiza en prácticamente todas las actividades industriales, en particular en aquéllas que se citan en el artículo 1 de la Directiva IPPC. Las técnicas o sistemas que se describen en este documento se pueden aplicar a todas las categorías de actividades industriales.

1.1. Importancia ambiental del almacenamiento

La importancia ambiental del almacenamiento depende fundamentalmente de su potencial para contaminar el medio ambiente y de las propiedades físico-químicas de las sustancias almacenadas. Es importante destacar que hay una diferencia entre «peligro» (propiedades peligrosas inherentes a una sustancia química) y «riesgo» (la probabilidad de que las propiedades peligrosas de la sustancia química provoquen daños a las personas o al medio ambiente). Sustancias diferentes crean riesgos muy diversos a causa de sus peligros; por lo tanto, es importante que las medidas de control de las emisiones que se apliquen se basen en una comprensión de las propiedades físico-químicas de las sustancias implicadas. Habitualmente se usa una aproximación basada en riesgos, y es también la que se utilizará en este documento.

Un ejemplo de aproximación basada en riesgos es la referente al almacenamiento de sólidos. El peligro de que los sólidos (inmóviles) contaminen acuíferos y aguas subterráneas es, en general, menor que el que plantean las sustancias líquidas (móviles). Sin embargo, en este contexto también deben considerarse posibles situaciones de accidentes. Por ejemplo, en el caso de un incendio con sólidos, que pueden no ser peligrosos por sí mismos, se pueden generar gases peligrosos. De esta forma, sustancias que son inmóviles o que se consideran inocuas, pueden provocar contaminación de la atmósfera, el suelo y los cursos de agua, por ejemplo, a través del agua usada para la extinción de incendios y de los residuos de los gases de combustión. Además, los aditivos presentes en las sustancias de extinción, que actúan como disolventes, pueden disolver sustancias adsorbidas en las partículas de hollín que, una vez introducidas en el recorrido del agua de extinción, plantean un peligro para los sistemas hídricos.

En consecuencia, no se pueden realizar afirmaciones de aplicación general acerca de la importancia ambiental que cubran todas las sustancias que se almacenan en conexión con las actividades industriales. Sin embargo, casi todas las sustancias pueden alterar adversamente las características físicas, químicas y biológicas del medio ambiente.

Por lo que respecta al polvo, diversos estudios epidemiológicos (véase, por ejemplo, el de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) han mostrado que se

puede identificar un impacto adverso sobre la salud incluso con las concentraciones de polvo en suspensión que se encuentran habitualmente al aire libre. Una mayor ingestión de partículas aumenta la probabilidad de problemas respiratorios, alteraciones del sistema cardiovascular y un deterioro general de la función respiratoria. El grado de impacto adverso sobre la salud depende, por encima de la constitución y la susceptibilidad individual, de la composición del polvo, de su concentración, del tiempo de exposición y de la distribución del tamaño de las partículas.

Se otorga una importancia especial a las partículas de tamaño inferior a $10\ \mu\text{m}$. La denominación PM_{10} (materia particulada $< 10\ \mu\text{m}$) se usa en las regulaciones correspondientes de la UE. Para otros tamaños de partículas se usa una terminología análoga (p. ej. $\text{PM}_{2,5}$ para diámetros de partículas inferiores a $2,5\ \mu\text{m}$).

El polvo fino puede penetrar profundamente en los pulmones y alcanzar los alvéolos, donde se puede acumular o puede atravesarlos y entrar en el torrente sanguíneo. Esto se aplica especialmente a las partículas de tamaño inferior a $10\ \mu\text{m}$. Las partículas con un diámetro aerodinámico de $10\ \mu\text{m}$ tienen una penetración alveolar de un 1,3 %, las partículas de $5\ \mu\text{m}$ tienen una penetración alveolar de un 30 %, las de $4\ \mu\text{m}$ de un 50 % y las de $1\ \mu\text{m}$ alcanzan una penetración del 97 %. Una parte de las partículas más pequeña se exhala. Investigaciones de causalidad específicas han mostrado que entre las partículas que penetran en los alvéolos, las partículas finas (de 2 a $4\ \mu\text{m}$) y las partículas ultrafinas (inferiores a $0,1\ \mu\text{m}$) presentan la mayor tasa de deposición. Por lo que respecta al efecto de las partículas finas (de 2 a $4\ \mu\text{m}$) se asume una relación dosis-efecto en la que la masa de las partículas que permanecen en el sistema respiratorio es un factor decisivo.

Además del potencial impacto adverso del polvo sobre la salud, el deterioro de la calidad del agua y el riesgo de explosión y de incendio son otros ejemplos de los efectos potenciales del almacenamiento y manipulación de sólidos.

El consumo de energía durante el almacenamiento, por ejemplo:

- para el almacenamiento en caliente de sustancias especiales («armarios calientes» para diversos contenedores o cubiertas generadoras de calor en el caso de tanques fijos),
- si es aplicable, para la calefacción de edificios en almacenes de contenedores,
- para el funcionamiento de bombas, extractores, etc.
- para la refrigeración, si es aplicable,

no son factores que influyan significativamente sobre la capacidad de las diversas técnicas para proteger el medio ambiente. Por tanto, los detalles cuantitativos sobre este tema sólo son posibles en casos independientes; por ejemplo, si el calor residual procedente de instalaciones productivas, que no se puede usar de ninguna otra forma como fuente de energía, se puede usar para la calefacción de los tanques.

1.2. Situaciones de emisión en instalaciones de almacenamiento

Durante la operación de sistemas de almacenamiento se pueden producir las siguientes emisiones:

- emisiones procedentes de las condiciones normales de funcionamiento (incluyendo la limpieza y el transporte de sustancias hacia y desde el punto de almacenamiento),
- emisiones procedentes de incidentes y de accidentes (graves).

Estas emisiones pueden ser:

- emisiones a la atmósfera,
- emisiones (vertidos) al agua (directas o indirectas),
- emisiones acústicas,
- emisiones de residuos.

1.2.1. Emisiones a la atmósfera

Las emisiones importantes a la atmósfera procedentes del almacenamiento de líquidos y gases licuados, durante el funcionamiento normal de las instalaciones, se pueden clasificar como sigue:

- emisiones durante la admisión y la evacuación; es decir, el transporte de sustancias hacia y desde el punto de almacenamiento (llenado y vaciado);
- emisiones por la respiración de los tanques; es decir, emisiones debidas a aumentos de temperatura que provocan una expansión de los vapores y su posterior emisión;
- emisiones fugitivas procedentes de elementos de estanqueidad de bridas, empalmes y bombas;
- emisiones durante la toma de muestras;
- emisiones procedentes de las operaciones de limpieza.

Por lo que respecta a las emisiones procedentes de materiales a granel pulverulentos, se pueden distinguir las siguientes categorías, que se tratan en este documento::

- emisiones durante la carga del material,
- emisiones durante el descarga del material,
- emisiones durante el transporte del material,
- emisiones durante el almacenamiento del material.

1.2.2. Emisiones al agua

Las emisiones que se producen al agua (de forma directa o indirecta a través de canalizaciones y alcantarillado o de plantas de depuración) y que se consideran en este BREF, son las siguientes:

- aguas residuales procedentes de almacenes de productos químicos, tanques, aguas de infiltración, etc.,
- vertidos de instalaciones de drenaje (precipitación procedente de la contención secundaria),
- aguas residuales de procesos de lixiviación,
- aguas residuales de procesos de limpieza,
- agua de sistemas contra incendio.

1.2.3. Emisiones acústicas

Las emisiones acústicas en las instalaciones de almacenamiento se producen básicamente durante la entrada y la salida de sustancias del lugar de almacenamiento:

- emisiones procedentes de bombas en instalaciones con tanques,
- emisiones procedentes del tránsito de vehículos (apiladores) y de las válvulas de los respiraderos en instalaciones con contenedores,
- emisiones procedentes del transporte de sólidos, como en el caso de transportadores.

Las emisiones acústicas son, en general, de importancia secundaria para determinar las técnicas óptimas de almacenamiento y, por tanto, no se tratan detalladamente en este documento.

1.2.4. Cuestiones sobre residuos

Los productos residuales habituales que pueden generarse en una instalación de almacenamiento en funcionamiento son:

- residuos procedentes de contenedores o productos de calidad subestándar,
- residuos procedentes de instalaciones que tratan gases de combustión (p. ej. carbón activado),
- contenedores usados,
- fangos (oleaginosos)
- si es aplicable, productos de limpieza, que pueden contener productos químicos o grasas.

Al discutir los diferentes sistemas de almacenamiento y las diversas técnicas de manipulación y transporte, se considera también cualquier posible situación de generación de residuos. Sin embargo, el tratamiento de estos residuos no se trata en este documento.

1.2.5. Incidentes y accidentes (graves)

Además de las emisiones durante las condiciones normales de funcionamiento, se consideran las posibles emisiones procedentes de incidentes y accidentes (graves). Las emisiones procedentes de incidentes y accidentes (graves) se acostumbran a producir en un intervalo de tiempo relativamente corto, pero con mucha mayor intensidad que las emisiones generadas durante las condiciones normales de funcionamiento.

El control de peligros de accidentes graves con presencia de sustancias peligrosas se trata en la II Directiva Seveso (Directiva del Consejo 96/82/CE de 9 de diciembre de 1996), que exige a las empresas tomar las medidas necesarias para evitar y limitar las consecuencias de accidentes graves. En cualquier caso, las empresas deben disponer de una «política de prevención de accidentes graves» (PPAG) y de un sistema de gestión de la seguridad para implementarla. Las empresas que guardan grandes cantidades de sustancias peligrosas, llamadas «establecimientos de nivel superior», también deben elaborar un informe de seguridad y un plan de emergencia *in situ*, así como mantener una lista actualizada de sustancias.

En este documento se consideran técnicas para evitar emisiones procedentes de incidentes y accidentes (graves), desde, por ejemplo, técnicas para evitar el sobrellenado de un tanque hasta técnicas para evitar la rotura de un tanque. Sin embargo, la gama de incidentes y accidentes no es exhaustiva ni diferencia entre accidentes menores y accidentes graves.

2. Sustancias y su clasificación

2.1. Naturaleza y clasificación de materiales peligrosos

La clasificación de sustancias peligrosas es el proceso de identificación de sus propiedades peligrosas mediante métodos de prueba adecuados y su posterior asignación a una o más clases de peligro comparando los resultados de las pruebas con los criterios de clasificación. Los productos preparados o las mezclas se pueden clasificar mediante pruebas o mediante métodos de cálculo basados en la concentración de sus componentes peligrosos.

La lista de la Tabla 2.1 muestra una descripción general de las categorías de sustancias con sus características peligrosas y símbolos de peligro. Además, las frases R pueden aparecer de forma independiente o combinadas. En el anexo 8.2 se explican detalladamente los símbolos y las frases R.

Tabla 2.1: Categorías de sustancias peligrosas según la Directiva 67/548/CEE

Peligro	Símbolo	Frases R
Explosivo	E	1, 2, 3
Comburente	O	7, 8, 9
Extremadamente inflamable	F+	12
Fácilmente inflamable	F	11
Inflamable	-	10
Reacciona violentamente con el agua	-	14
Reacciona con el agua liberando gases extremadamente inflamables	-	15
En contacto con agua libera gases tóxicos	-	29
Muy tóxico	T+	26, 27, 28 (-39)
Tóxico	T	23, 24, 25 (-39, -48)
Nocivo	Xn	20, 21, 22, 65 (-48)
Corrosivo	C	34, 35
Irritante	Xi	36, 37, 38
Sensibilizante	-	42, 43
Carcinogénico	-	40, 45, 49
Tóxico a efectos reproductivos	-	60, 61, 62, 63, 64
Mutagénico	-	46
Peligroso para el medio ambiente	N	50, 51, 52, 53, 58, 59
COV ¹⁾	-	-
Polvo ¹⁾	-	-

¹⁾ Peligroso según el anexo 3 de la Directiva IPPC

En el anexo 8.2 –Sustancias peligrosas y su clasificación también se tratan los siguientes temas en detalle:

- sistemas de clasificación reguladores (legislación de suministros de la Unión Europea, legislación sobre transporte);
- ámbito de aplicación de los sistemas de clasificación reguladores (sistema de suministros de la Unión Europea, sistema de transporte RTDG de la ONU);
- comunicación de peligros dentro de los sistemas de clasificación reguladores;
- peligros físico-químicos:
 - peligro por explosión (sistema UE, sistema de transporte RTDG la ONU),
 - peligro por oxidación y peróxidos orgánicos (sistema UE, sistema de transporte RTDG la ONU),
 - peligros por inflamabilidad,
 - sistema UE (líquidos; sólidos; gases; pirofórico/con calentamiento espontáneo; reactivo que en contacto con el agua produce liberación de gases inflamables; otras propiedades físico-químicas),
 - sistema de transporte RTDG la ONU (líquidos; sólidos; gases; productos muy reactivos y sustancias asociadas; explosivos desensibilizados; pirofórico/con calentamiento espontáneo; reactivo en contacto con el agua con liberación de gases inflamables),
 - propiedades físico-químicas (sistema UE, sistema de transporte RTDG de la ONU);
- peligros para la salud:
 - toxicidad aguda (sistema UE, sistema de transporte RTDG de la ONU),
 - toxicidad aguda, subcrónica o crónica (efectos irreversibles muy graves a causa de una exposición única; efectos irreversibles muy graves a causa de una exposición repetida o prolongada),
 - corrosivo e irritante (sistema UE – corrosivo; sistema de transporte RTDG de la ONU; sistema UE – irritante),
 - sensibilización,
 - efectos específicos sobre la salud,
 - otros efectos sobre la salud (sistema UE, sistema de transporte RTDG de la ONU);
- peligros ambientales (sistema UE, sistema de transporte RTDG de la ONU).

Debe destacarse que los sistemas de clasificación que se describen en detalle en el anexo 8.2 no cubren necesariamente todos los criterios exigidos por la legislación de almacenamiento de productos peligrosos en todos los Estados miembros de la Unión Europea. Por ejemplo, en determinadas zonas de Bélgica, la legislación sobre almacenamiento trata puntos de ignición de hasta 250 °C.

La clasificación lleva a la comunicación de peligros, de la cual hay dos tipos: información rápida en la etiqueta del envase que contiene el producto peligroso y una información más detallada, por ejemplo en una hoja de datos de seguridad adjunta.

En diversos EM ya existen sistemas de clasificación por lo que respecta a las emisiones a la atmósfera y al agua, como por ejemplo el TA Luft en Alemania (véase <http://www.umweltbundesamt.de/wgs/vwvws.htm>) y el NER en los Países Bajos (véase <http://www.infomil.nl/lucht/index.htm>).

2.2. Clasificación de sustancias empaquetadas

En la referencia [HSE, 1998 #35] se usa el sistema de transporte RTDG de la ONU (explicado en el anexo 8.2) para expresar la compatibilidad de las sustancias empaquetadas. Véase el anexo 8.3 en donde se muestra en una tabla la compatibilidad de sustancias.

Este principio de separación y segregación no sólo es relevante para el almacenamiento de sustancias empaquetadas, sino también para el almacenamiento en tanques.

2.3. Clases de dispersibilidad de materiales sólidos a granel

[InfoMil, 2001 #15]

La siguiente clasificación, que se basa en la susceptibilidad de un material a dispersarse y en la posibilidad de tratar el problema por humectación, se usa para productos no reactivos:

- S1: gran dispersibilidad, no humectable**
- S2: gran dispersibilidad, humectable**
- S3: dispersibilidad media, no humectable**
- S4: dispersibilidad media, humectable**
- S5: no dispersable o ligeramente dispersable**

La clasificación en función de la dispersibilidad de materiales sólidos a granel muestra una larga lista de diferentes materiales sólidos y sus respectivos tipos de dispersibilidad; véase el anexo 8.4.

El almacenamiento y transporte de productos tóxicos o reactivos no se considera aquí ya que, cuando se cargan estos productos para transporte o almacenamiento a granel, se manipulan en un sistema cerrado o en envases y no como materiales sueltos.

2.4. Cómo usar los sistemas de clasificación en este documento

Los sistemas de clasificación que se describen en el apartado 2.1 son muy exhaustivos y bastante complejos, pero normalmente sólo una parte de las propiedades

peligrosas (p. ej. la inflamabilidad) influye realmente en el tipo de diseño y el funcionamiento de una unidad de almacenamiento. Del mismo modo, el sistema de clasificación ignora, total o parcialmente, algunas propiedades aunque puedan tener una influencia importante en el diseño y el funcionamiento de la unidad de almacenamiento; un ejemplo son los puntos de congelación y de ebullición, la presión de vapor y los datos acerca de materiales de construcción adecuados. Esto es así porque los criterios de clasificación de las sustancias peligrosas se basan en sus propiedades intrínsecamente peligrosas y no en el riesgo.

Los sistemas de clasificación por ellos mismos no incluyen todos los datos necesarios para definir MTD para el almacenamiento de una sustancia determinada, pero sí incluyen los datos de las propiedades peligrosas necesarios para realizar un análisis de riesgos. Por tanto, los datos de clasificación de una sustancia determinada son útiles al considerar la determinación de MTD.

En cualquier situación, las precauciones necesarias para conseguir un estándar de control razonable varían, pero siempre deben tener en cuenta las propiedades de la sustancia a almacenar. Esto es especialmente importante, ya que sustancias diferentes pueden crear riesgos muy diferentes a causa de sus peligros. La interacción entre diferentes sustancias, especialmente las que son incompatibles, puede crear peligros adicionales. Aunque esta afirmación es válida en el contexto de sustancias peligrosas envasadas y situadas en almacenes, también es válida para sustancias peligrosas a granel.

3. Técnicas aplicadas de almacenamiento, transporte y manipulación

Este capítulo describe las técnicas aplicadas en el almacenamiento, transporte y manipulación de líquidos y gases licuados y de sólidos. El almacenamiento de líquidos y gases licuados y todas las cuestiones asociadas con el almacenamiento se describe en el apartado 3.1. El transporte y manipulación de líquidos y gases licuados se trata en el apartado 3.2. El almacenamiento de sólidos se describe en el apartado 3.3 y su transporte y manipulación en el apartado 3.4.

3.1. Almacenamiento de líquidos y gases licuados

En esta sección se consideran los siguientes sistemas de almacenamiento:

Tabla 3 .1: Referencias cruzadas de sistemas de almacenamiento para líquidos y fases licuados

Tipo de sistema de almacenamiento	Atmosférico, a presión, refrigerado	Secciones
Tanques de techo abierto	Atmosférico	Sección 3.1.1
Tanques de techo flotante externo	Atmosférico	Sección 3.1.2
Tanques de techo fijo (verticales)	Atmosférico	Sección 3.1.3
Tanques horizontales (superficiales)	Atmosférico	Sección 3.1.4
Tanques horizontales (subterráneos)	Atmosférico	Sección 3.1.11
Tanques de espacio de vapor variable	Atmosférico	Sección 3.1.9
Tanques esféricos	A presión	Sección 3.1.7
Tanques horizontales	A presión	Sección 3.1.5
Tanques cilíndricos verticales	A presión	Sección 3.1.6
Tanques cubiertos de tierra	A presión	Sección 3.1.8
Tanques refrigerados	Refrigerado	Sección 3.1.10
<hr/>		
Cavidades	Atmosférico	Sección 3.1.15
Cavidades	A presión	Sección 3.1.16
Cavidades salinas lixiviadas		Sección 3.1.17
<hr/>		
Contenedores y almacenamiento de contenedores		Sección 3.1.13
Estanques y balsas	Atmosférico	Sección 3.1.14
Almacenamiento flotante	Atmosférico	Sección 3.1.18

El diagrama de flujo de la Figura 3.1 identifica las posibles emisiones gaseosas y líquidas y los residuos resultantes del almacenamiento de materiales líquidos. La situación básica en cualquiera de los sistemas de almacenamiento descritos presupone que no hay instaladas medidas de control de emisiones; por ejemplo, se presupone que un tanque de techo fijo sólo tiene orificios de venteo, que el recubrimiento no está pintado de color claro, etc. Para cada categoría de almacenamiento, se listan las actividades operativas relevantes y los posibles incidentes y accidentes que pueden provocar una emisión. Esto forma la base para la descripción de las posibles emisiones por sistema y actividad.

En particular, se seleccionan las posibles fuentes de emisión de instalaciones de almacenamiento para líquidos y gases licuados para un análisis posterior utilizando una aproximación de matriz de riesgos, tal como se muestra en la Figura 3.2

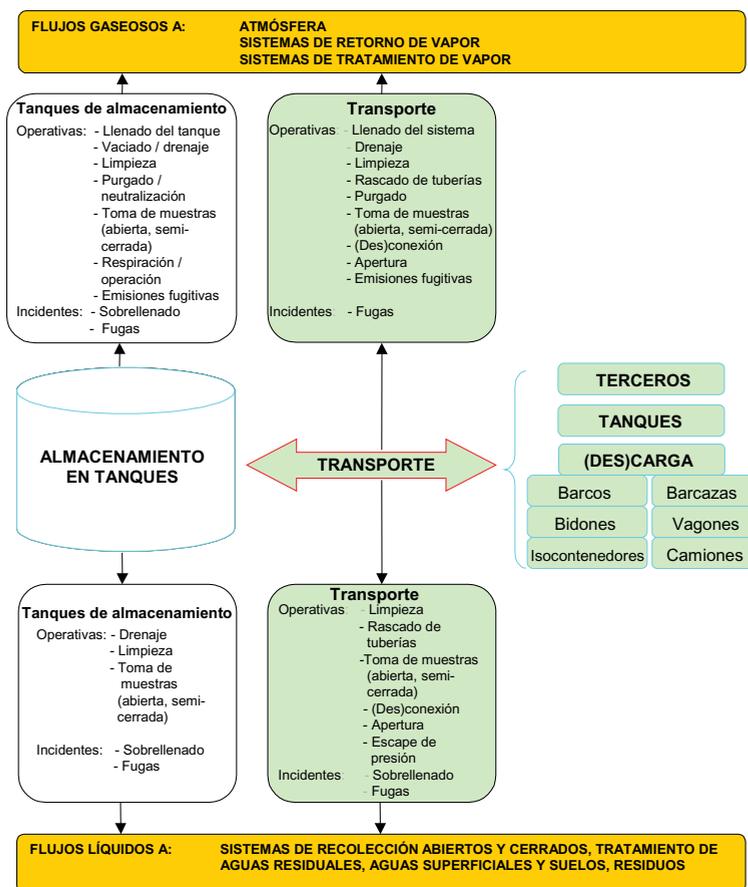
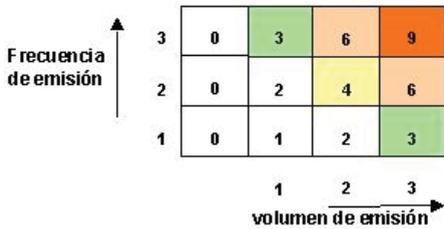


Figura 3.1: Diagrama de flujo con las potenciales emisiones procedentes de instalaciones de almacenamiento superficiales y subterráneas



Se consideran todos los valores => 3

Frecuencia:
 3 = frecuente (al menos diariamente)
 1 = infrecuente (una vez cada pocos años)

Volumen:
 3 = (relativamente) grande
 1 = pequeño
 0 = nulo / despreciable

Nótese que las puntuaciones proporcionadas sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para cada modo de transferencia por sí solo. Es decir, una puntuación de 3 para una fuente potencial de emisión de un sistema de transporte y manipulación no se puede comparar con una puntuación de 3 para una fuente de otro sistema de transporte y manipulación.

Figura 3.2: Matriz de riesgos para emisiones procedentes del almacenamiento de líquidos y gases licuados

Observaciones:
<ol style="list-style-type: none"> 1. La clasificación como n. a. (no aplicable) indica que no se considerará la fuente particular de emisión (no aplicable o no relevante, etc.) debido a la naturaleza específica del modo de almacenamiento descrito.
<ol style="list-style-type: none"> 2. Se realizará una clara distinción entre emisiones de «fuentes operativas» y las emisiones de «incidentes».
<ol style="list-style-type: none"> 3. Las puntuaciones de emisión (de las fuentes operativas) se calculan multiplicando la frecuencia de emisión por el volumen de emisión. Esta metodología se aplica habitualmente en aproximaciones de evaluación de riesgos, como la que se usa en las inspecciones basadas en riesgos (tal como se explicará en mayor detalle en este BREF). Se consideran todas las puntuaciones por encima de 3: p. ej. todas las fuentes de emisión con frecuencias elevadas (puntuación = 3), volúmenes grandes (puntuación = 3) y frecuencia media y volumen medio (en que frecuencia y volumen puntúan 2).

Los diferentes tipos de tanques de almacenamiento usados se describen en las diversas secciones, tal como se muestra en la Tabla 3.1. Para evitar repeticiones, todas las cuestiones técnicas comunes, como la puesta en marcha, el desmantelamiento y el equipamiento, se describen en secciones independientes. Cuando es relevante se ofrecen referencias cruzadas para enlazar temas relacionados, con el objetivo de facilitar la búsqueda. Otros modos de almacenamiento, como bodegas, estanques, balsas y cavidades, tienen pocas o ninguna cuestión en común con otros sistemas y, por tanto, sólo se describen en secciones independientes.

3.1.1. Tanques de techo abierto

A. Descripción

Los tanques de techo abierto se acostumbran a usar para almacenar purines y están hechos de planchas de acero curvadas o de secciones de cemento. Algunos tanques de planchas de cemento pueden ser parcialmente subterráneos. Todos los tanques se construyen sobre una base de cemento reforzado adecuadamente diseñada. En todos los diseños de tanques, el grosor de la placa base y la adecuación del sistema de estanqueidad en la unión de las paredes y la base del tanque son aspectos muy importantes para evitar fugas.

Un sistema habitual dispone de un pozo de recepción con una rejilla al lado del recipiente principal. Los tanques de techo abierto se llenan mediante una conducción con una apertura por encima o por debajo de la superficie de los purines. El recipiente principal puede disponer de una salida con válvula para permitir un vaciado hacia el pozo de recepción o bien puede vaciarse con una bomba situada en el recipiente.

Un tanque de techo abierto puede cubrirse con una capa natural o artificial de materia flotante (como materiales granulados, paja o una membrana flotantes) o con una cubierta sólida (como un techo de tela o de cemento) para evitar la entrada de agua de lluvia y reducir las emisiones (p. ej. de amoníaco procedente de los purines). La instalación de una cubierta sólida permite la recolección y tratamiento de las emisiones.

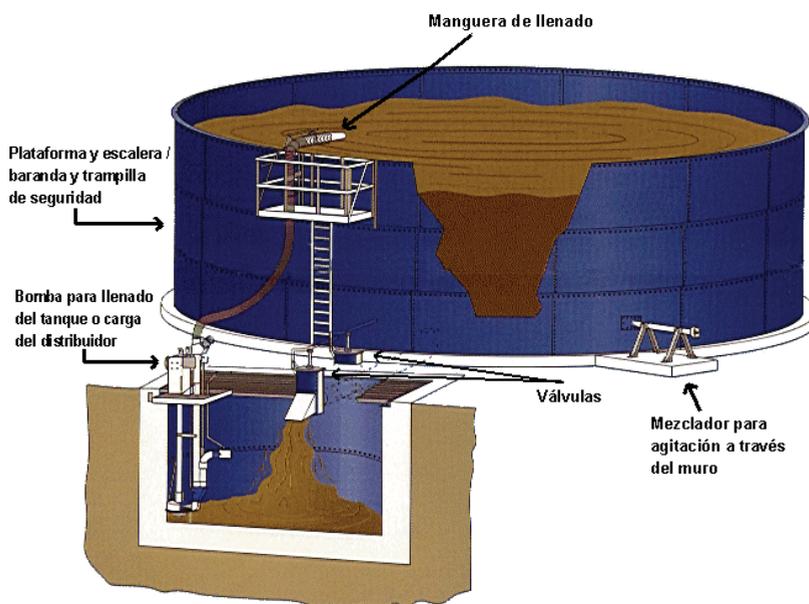


Figura 3.3: Ejemplo de un tanque de purines de techo abierto con un pozo de recepción subterráneo [119, EIPPCB, 2001]

B. Equipo relevante para el tanque y otras consideraciones

Tabla 3.2: Referencias cruzadas para tanques de techo abierto

		Sección
3.1.12.7 Equipo para tanques	Instrumentación	3.1.12.7.4
	Desagües	3.1.12.7.6
	Mezcladores	3.1.12.7.7
	Elementos de estanqueidad	3.1.12.7.9
	Válvulas	3.1.12.7.10
3.1.12 Consideraciones asociadas a los tanques		

C. Posibles fuentes de emisión (tanques de techo abierto)

La Tabla 3.3 y la Tabla 3.4 muestran las puntuaciones de emisión para las posibles fuentes de emisión en tanques de techo abierto. La Figura 3.2 del apartado 3.1 explica la metodología para calcular la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se considerarán en el capítulo 4.

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para cada modo de almacenamiento por sí solo.

Tabla 3.3: Posibles emisiones a la atmósfera procedentes de fuentes operativas con tanques de techo abierto [113, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones a la atmósfera	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Llenado	2	3	6
Operación	3	3	9
Vaciado	2	1	2
Limpieza	1	2	2
Inertización			n. a.
Medición manual			n. a.
Muestreo			n. a.
Emisiones fugitivas			n. a.
Drenaje			n. a.

Tabla 3.4: Posibles emisiones líquidas al agua o residuos procedentes de fuentes operativas con tanques de techo abierto [113, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones líquidas al agua o residuos	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Drenaje	2	1	2
Limpieza	1	3	3
Muestreo	2	0	0

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

3.1.2. Tanques de techo flotante externo (TTFE)

A. Descripción

[84, TETSP, 2001], [41, Concawe, 1999] [66, EPA, 1997] [114, UBA, 2001]

Un TTFE típico está formado por una estructura cilíndrica de acero de techo abierto equipada con un techo flotante sobre la superficie del líquido almacenado. El techo flotante está formado por una plataforma, accesorios y un sistema de estanqueidad periférico. En todos los tipos de TTFE el techo sube y baja con las subidas y bajadas del nivel de líquido en el tanque. Las superficies flotantes externas están equipadas con un sistema de estanqueidad periférico, que se une al perímetro de la plataforma y se halla en contacto con el muro del tanque. El propósito de la plataforma flotante y del sistema de estanqueidad es reducir las emisiones a la atmósfera (y las pérdidas de producto) del líquido almacenado. El sistema de estanqueidad se desliza contra el muro a medida que el techo sube y baja. La plataforma flotante también está equipada con accesorios que penetran la plataforma y que se usan para funciones operativas. El diseño de techo flotante externo está pensado para que las pérdidas por evaporación del líquido almacenado queden limitadas a pérdidas procedentes del sistema de estanqueidad periférico y de los accesorios de la plataforma (pérdidas de almacenaje en reposo) y de cualquier líquido que quede en la superficie interna del tanque cuando se baja el techo (pérdida por retiro).

Un TTFE se puede equipar con un techo de bóveda geodésica. Estas bóvedas se instalan básicamente para evitar que el agua penetre en el producto o para reducir la carga de nieve en el techo flotante. Además, un techo de bóveda también reduce los efectos del viento sobre el sistema de estanqueidad y, por tanto, reduce las emisiones. En consecuencia, un techo de bóveda constituye un dispositivo de control de las emisiones y, como tal, se describe en el apartado 4.1.3.5.

Existen tres tipos principales de techo flotante:

Techos flotantes de pontón

Para estos techos, la flotabilidad la aporta un pontón anular que ocupa aproximadamente de un 20 a un 25 % del área total del techo. La plataforma central puede soportar unos 250 mm de lluvia en toda el área del techo. El pontón anular está compartimentado y la flotación se diseña de tal modo que el techo sigue flotando incluso en el caso de que dos compartimentos adyacentes y la plataforma central estén perforados.

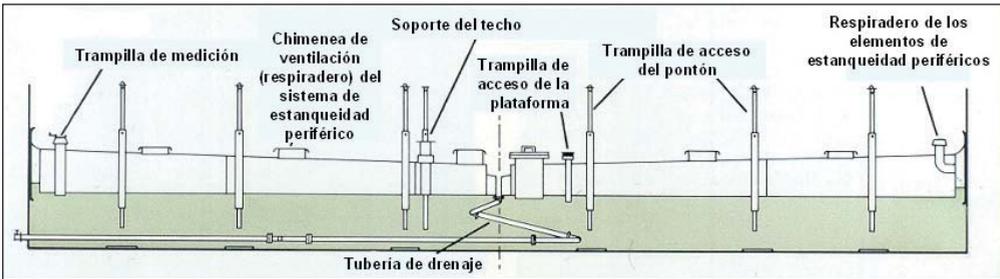


Figura 3.4: Tanque típico de techo flotante con pontón [185, UBA Germany, 2004]

Techos flotantes de doble plataforma

En estos techos toda la superficie del techo dispone de una plataforma doble, lo que le confiere mayor rigidez que en el caso del techo de pontón. El agua no se acumula en la plataforma superior, situada por encima del nivel del producto almacenado, ya que se vacía inmediatamente a través de desagües del techo (por un sistema de drenaje o de mangueras y mediante una válvula de drenaje de la estructura a nivel del suelo). Sin embargo, también es una práctica habitual acumular el agua de lluvia antes de abrir la válvula de drenaje en la salida del sistema de drenaje. Los techos de doble plataforma se pueden equipar con desagües de emergencia, que vacían cualquier acumulación hacia el producto almacenado. Los techos de doble plataforma acostumbran a estar instalados en tanques de gran diámetro (p. ej. > 50 m de diámetro). Son estructuralmente más fuertes y evitan problemas provocados por el viento, que pueden afectar a las plataformas centrales de los grandes techos de pontón.

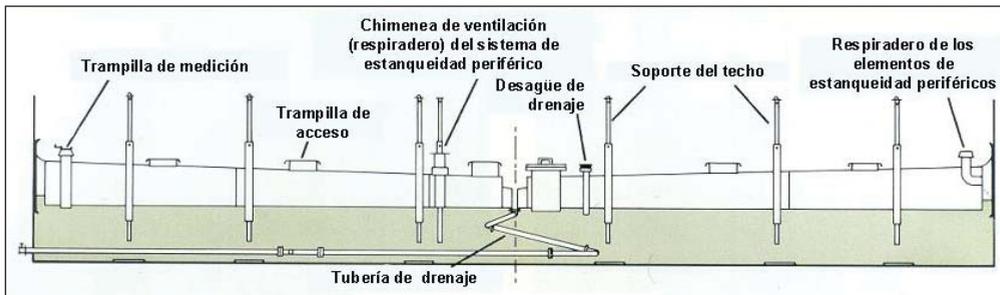


Figura 3.5: Tanque típico de techo flotante con techo de doble plataforma [185, UBA Germany, 2004]

Techos especiales de boyas y con refuerzo radial

El techo de boyas es un techo de pontón con un pontón anular relativamente pequeño, pero que incorpora varias boyas circulares de pequeño diámetro distribuidas por la plataforma central, para proporcionar una mayor flotabilidad. Los techos con refuerzo radial tienen un pontón anular y una boya en el medio de la plataforma central. Estos techos se diseñan con una cierta pendiente para forzar el agua de lluvia a que se dirija hacia los desagües en el centro de la plataforma, de forma que se evite la acumulación de agua. Se aplican tensores radiales para mantener la pendiente mientras flota el techo. Estos techos son vulnerables al colapso cuando se apoyan en las patas de soporte y se usan principalmente para techos de gran diámetro, pero actualmente casi no se construyen, ya que los techos de doble plataforma tienen un rendimiento mucho mejor en tanques de gran diámetro.

B. Equipo relevante para el tanque y otras consideraciones

Tabla 3.5: Referencias cruzadas para TTFE

	Sección
	Orificios de venteo 3.1.12.7.1
	Trampillas de medición y muestreo 3.1.12.7.2
	Pozos fijos y guías 3.1.12.7.3
	Instrumentación 3.1.12.7.4
3.1.12.7 Equipo para tanques	Trampillas de acceso 3.1.12.7.5
	Desagües 3.1.12.7.6
	Mezcladores 3.1.12.7.7
	Sistemas de calentamiento 3.1.12.7.8
	Elementos de estanqueidad 3.1.12.7.9
	Válvulas 3.1.12.7.10
3.1.12 Consideraciones asociadas a los tanques	

C. Posibles fuentes de emisión (TTFE)

La Tabla 3.6 y la Tabla 3.7 muestran puntuaciones de emisión para las fuentes potenciales de emisión de los TTFE. La Figura 3.2 explica la metodología de cálculo de la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se consideran en el capítulo 4.

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para cada modo de almacenamiento por sí solo.

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

Tabla 3.6: Posibles emisiones a la atmósfera procedentes de fuentes operativas con TTFE [84, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones a la atmósfera	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Llenado (hasta que el techo flota sobre el líquido)	1	3	3
Operación	3	1	3
Vaciado (película en pared)	2	1	2
Vaciado (hasta que el techo toca el suelo)	1	1	1
Inertización			n. a.
Limpieza	1	2	2
Medición manual	2	1	2
Muestreo	2	1	2
Emisiones fugitivas	3	1	3
Drenaje	2	1	2

Tabla 3.7: Posibles emisiones líquidas al agua o residuos procedentes de fuentes operativas con TTFE [84, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones líquidas al agua o residuos	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Drenaje	2	1	2
Drenaje del techo	2	0	0
Limpieza	1	3	3
Muestreo	2	0	0

3.1.3. Tanques de techo fijo (TTF) vertical

A. Descripción

[84, TETSP, 2001] [66, EPA, 1997]

Los tanques de techo fijo se diseñan como tanques atmosféricos (ventilación libre), tanques de baja presión (hasta una presión interna de aprox. 20 mbar) o tanques llamados «de alta presión» (hasta una presión interna de aprox. 56 mbar). Los tanques de techo fijo no presurizados son adecuados para el almacenamiento a presión atmosférica y, por tanto, tienen chimeneas de ventilación abiertas (aunque diseñadas para soportar presiones internas de hasta 7,5 mbar y un vacío de 2,5 mbar). Tanto los tanques de techo fijo de baja presión como los de alta presión disponen de válvulas de escape de presión/vacío (VEPV), que se hallan totalmente abiertas a la presión/vacío de diseño. Todos estos tipos de tanques también deben cumplir requisitos adicionales como la estabilidad. Pueden necesitarse sistemas

de anclaje para evitar el levantamiento del tanque por sus bordes a causa de la carga combinada de la presión interna y el viento.

Los tanques equipados con VEPV se pueden «inertizar» (véase el apartado 4.1.6.2.1.). En esta técnica, por cuestiones de seguridad, se introduce un gas inerte (p. ej. nitrógeno) en el espacio de vapor por encima del producto para sustituir la quizá inflamable mezcla de aire y vapor. No se trata de una medida de control de las emisiones, ya que el producto seguirá evaporándose. Un sistema de control de inertización exige un diseño cuidadoso para garantizar que la presión dentro del sistema se mantiene dentro de los parámetros de la válvula de escape de presión del tanque. Como la presión media dentro del espacio de vapor del tanque es superior que en un tanque no neutralizado, la respiración debida a la expansión térmica del espacio de vapor generará mayores emisiones a la atmósfera.

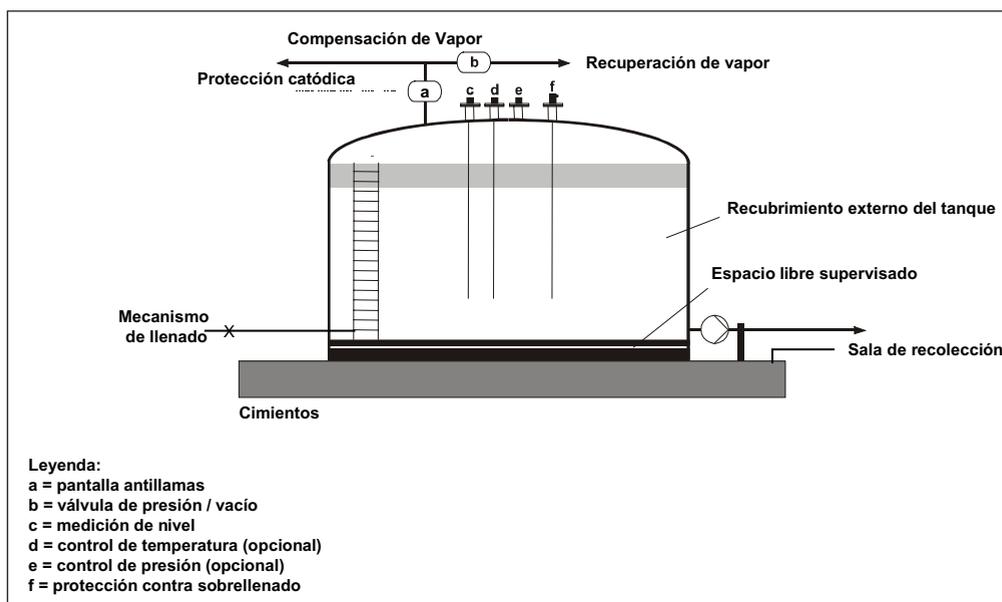


Figura 3.6: Tanque de techo fijo vertical con algunos equipos de control de emisiones instalados [18, UBA, 1999]

La Figura 3.7 muestra un techo de forma cónica, típico en tanques de techo fijo de gran diámetro. El techo dispone de una estructura de soporte, construida a base de vigas, travesaños o puntales. Los techos autosostenidos pueden ser cónicos o abovedados, pero en general sólo se usan para tanques de menor diámetro.

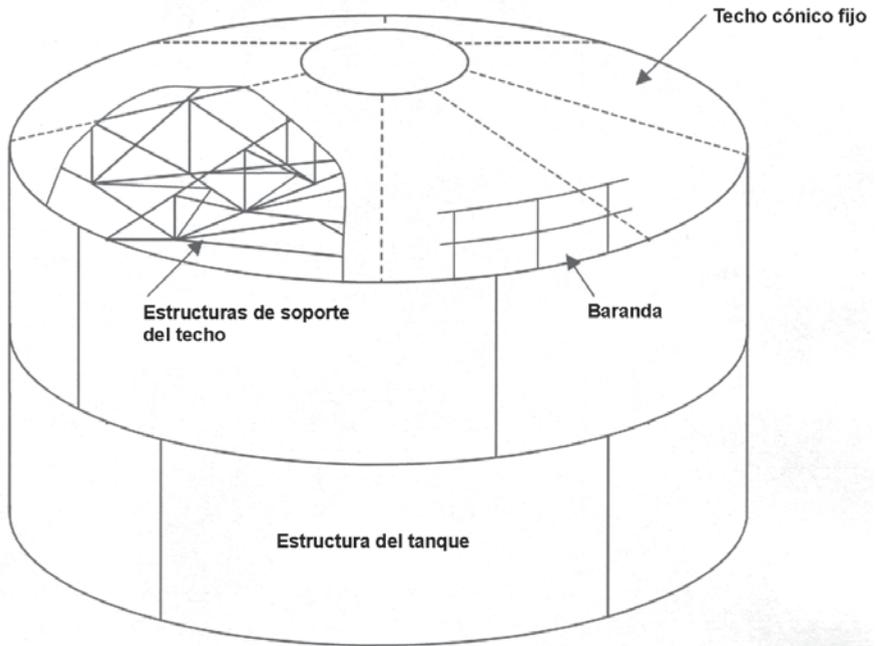


Figura 3.7: Ejemplo típico de tanque de techo fijo [166, EEMUA, 2003]

La Tabla 3.8 muestra las diversas especificaciones de diseño de los diferentes tipos de TTF.

Tabla 3.8: Especificaciones de diseño de diferentes tipos de tanques de techo fijo [113, TETSP, 2001]

Tipo de tanque de techo fijo	Especificaciones de presión y de vacío
Atmosférico	+ 7,5 mbar - 2,5 mbar Estos tanques acostumbran a tener un orificio de venteo
«Baja» presión	+ 20 mbar - 6 mbar
«Alta» presión	+ 56 mbar - 6 mbar

B. Equipo relevante para el tanque y otras consideraciones

Tabla 3.9: Referencias cruzadas para tanques de techo fijo

	Sección	
	Orificios de venteo	3.1.12.7.1
	Trampillas de medición y muestreo	3.1.12.7.2
	Pozos fijos y guías	3.1.12.7.3
	Instrumentación	3.1.12.7.4
3.1.12.7 Equipos para tanques	Trampillas de acceso	3.1.12.7.5
	Desagües	3.1.12.7.6
	Mezcladores	3.1.12.7.7
	Sistemas de calentamiento	3.1.12.7.8
	Elementos de estanqueidad	3.1.12.7.9
	Válvulas	3.1.12.7.10

3.1.12 Consideraciones asociadas a los tanques

C. Posibles fuentes de emisión (TTF)

La Tabla 3.10 y la Tabla 3.11 muestran puntuaciones de emisión para las fuentes potenciales de emisión de los TTF. La Figura 3.2 explica la metodología de cálculo de la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se consideran en el capítulo 4.

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para cada modo de almacenamiento por sí solo.

Tabla 3.10: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas de TTF [84, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones a la atmósfera	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Llenado	2	3	6
Respiración	3	2	6
Vaciado	2	1	2
Limpieza	1	2	2
Inertización	3	2	6
Medición manual	2	1	2
Muestreo	2	1	2
Emisiones fugitivas	3	1	3
Drenaje	2	1	2

La Tabla 3.10 muestra que los dos tipos más significativos de emisiones procedentes de tanques de techo fijo son las pérdidas por ventilación y por trabajo.

Las pérdidas por trabajo son la combinación de las pérdidas durante el llenado y durante el vaciado. Las pérdidas por respiración están formadas por la expulsión de vapor a causa de la expansión y la compresión del vapor, provocadas por los cambios de temperatura y de presión. Estas pérdidas se producen sin cambio del nivel de líquido en el tanque. Durante las operaciones de llenado se producen emisiones como resultado de un aumento del nivel de líquido en el tanque; a medida que aumenta el nivel de líquido, la presión dentro del tanque supera la presión de escape y se expulsa vapor. También se producen emisiones durante el vaciado cuando el aire que entra en el tanque al retirar el líquido se satura de vapores orgánicos y se expande, con lo que supera la capacidad del espacio de vapor.

Tabla 3.11: Posibles emisiones líquidas al agua o residuos de fuentes operativas de TTF [84, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones líquidas al agua o residuos	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Drenaje	2	1	2
Limpieza	1	3	3
Muestreo	2	0	0

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

3.1.4. Tanques horizontales de superficie (atmosféricos)

A. Descripción

[66, EPA, 1997] [84, TETSP, 2001] [18, UBA, 1999]

Los tanques de techo fijo horizontales se construyen para su uso en superficie y subterráneo y acostumbran a tener una capacidad inferior a 150 m³. Normalmente los tanques están equipados con válvulas de escape de presión/vacío (VEPV), trampillas de medición, pozos de muestreo y trampillas de acceso. El diámetro máximo se suele determinar por factores como la presión de diseño, las posibilidades de fabricación, los requisitos del tratamiento térmico posterior a la soldadura, limitaciones de transporte, criterios de los cimientos y economía de diseño. La longitud máxima permitida acostumbra a determinarse en función de la estructura de soporte, los criterios para los cimientos, el espacio disponible y la economía de diseño.

El material de construcción puede ser acero, acero con recubrimiento de fibra de vidrio o poliéster reforzado con fibra de vidrio, aunque los tanques más antiguos

pueden ser de acero remachado o empernado. Todos los tanques están diseñados para ser estancos con líquidos y con gases.

La Figura 3.8 muestra un tanque horizontal de superficie con algunos equipos de control de las emisiones.

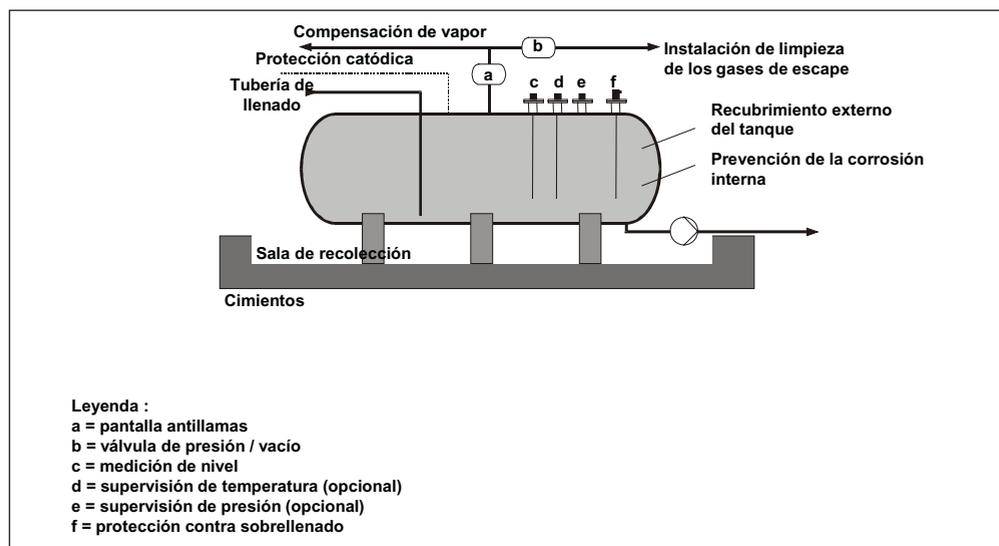


Figura 3.8: Tanque horizontal de superficie con algunos equipos de control de las emisiones [18, UBA, 1999]

En el apartado 3.1.11 se dan más detalles sobre los tanques horizontales subterráneos.

B. Equipo relevante para el tanque y otras consideraciones

Tabla 3.12: Referencias cruzadas para tanques horizontales de superficie

		Sección
3.1.12.7 Equipos para tanques	Orificios de venteo	3.1.12.7.1
	Trampillas de medición y muestreo	3.1.12.7.2
	Pozos fijos y guías	3.1.12.7.3
	Instrumentación	3.1.12.7.4
	Trampillas de acceso	3.1.12.7.5
	Desagües	3.1.12.7.6
	Mezcladores	3.1.12.7.7
	Sistemas de calentamiento	3.1.12.7.8
	Elementos de estanqueidad	3.1.12.7.9
	Válvulas	3.1.12.7.10
3.1.12 Consideraciones asociadas a los tanques		

C. Posibles fuentes de emisión (tanques horizontales de superficie)

La Tabla 3.13 y la Tabla 3.14 muestran las puntuaciones de emisión para las fuentes potenciales de emisión de los tanques horizontales de superficie. La Figura 3.2 explica la metodología de cálculo de la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se consideran en el capítulo 4.

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para cada modo de almacenamiento por sí solo.

Tabla 3.13: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en tanques horizontales de superficie [113, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones a la atmósfera	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Llenado	2	3	6
Respiración	3	2	6
Vaciado	2	1	2
Limpieza	1	2	2
Inertización	3	2	6
Medición manual	2	1	2
Muestreo	2	1	2
Emisiones fugitivas	3	1	3
Drenaje	2	1	2

Tabla 3.14: Posibles emisiones al agua o residuos de fuentes operativas en tanques horizontales de superficie [113, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones líquidas al agua o residuos	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Drenaje	2	1	2
Limpieza	1	2	2
Muestreo	2	0	0

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

3.1.5. Tanques horizontales presurizados

A. Descripción

[66, EPA, 1997] [18, UBA, 1999]

Hay dos clases de tanques a presión de uso habitual: de baja presión (de 170 a 1030 mbar) y de alta presión (superior a 1030 mbar). Los tanques a presión se acostumbran a usar para almacenar líquidos orgánicos y gases con una alta presión de vapor y están disponibles en muchos tamaños y formas, en función de la presión de trabajo del tanque. En general son horizontales y en forma de bala o esféricos (véase el apartado 3.1.7) para mantener la integridad estructural a altas presiones. Los tanques de alta presión pueden funcionar de forma que no haya prácticamente pérdidas de trabajo ni por evaporación.

La calidad del equipo de control de emisiones usado depende de la sustancia almacenada; por ejemplo, para el almacenamiento de propano o de butano se suelen usar tanques de un solo muro.

La Figura 3.9 muestra algunos tanques presurizados horizontales con algunos equipos de control de emisiones.

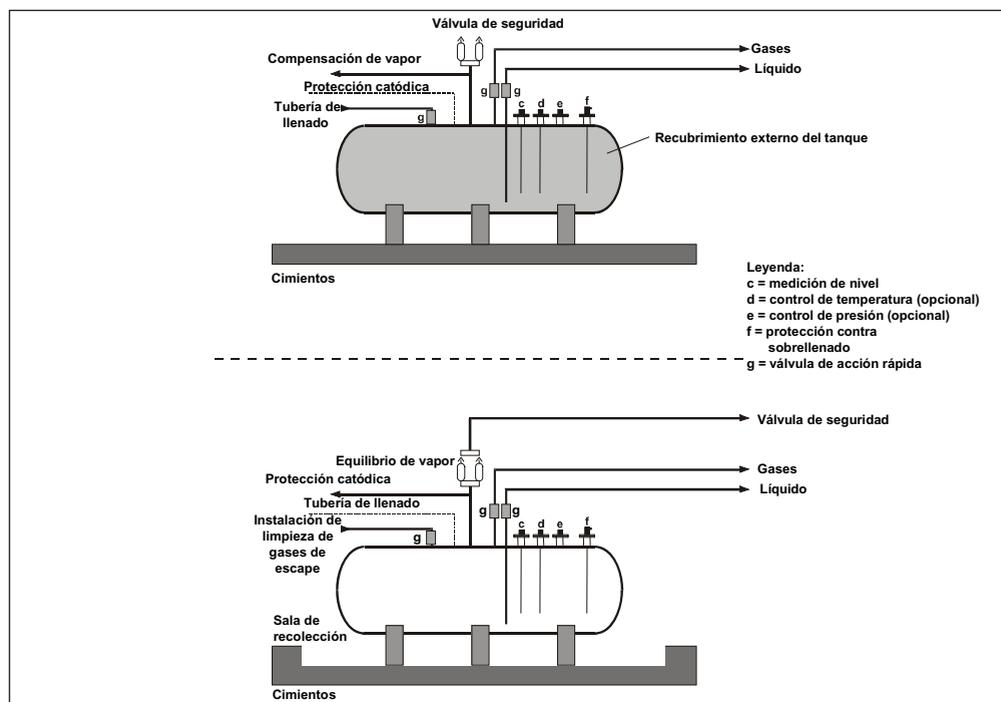


Figura 3.9: Tanques horizontales presurizados con algunos equipos de control de emisiones [18, UBA, 1999]

B. Equipo relevante para el tanque y otras consideraciones

Tabla 3.15: Referencias cruzadas para los tanques horizontales presurizados

		Sección
3.1.12.7 Equipos para tanques	Orificios de venteo	3.1.12.7.1
	Pozos fijos y guías	3.1.12.7.3
	Instrumentación	3.1.12.7.4
	Trampillas de acceso	3.1.12.7.5
	Desagües	3.1.12.7.6
	Mezcladores	3.1.12.7.7
	Sistemas de calentamiento	3.1.12.7.8
	Elementos de estanqueidad	3.1.12.7.9
	Válvulas	3.1.12.7.10
3.1.12 Consideraciones asociadas a los tanques		

C. Posibles fuentes de emisión (tanques horizontales presurizados)

La Tabla 3.16 y la Tabla 3.17 muestran las puntuaciones de emisión para las fuentes potenciales de emisión de los tanques horizontales de superficie. La Figura 3.2 explica la metodología de cálculo de la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se consideran en el capítulo 4.

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para cada modo de almacenamiento por sí solo.

Tabla 3.16: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en tanques horizontales presurizados [113, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones a la atmósfera	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Llenado	2	1	2
Respiración			n. a.
Vaciado			n. a.
Limpieza	1	2	2
Inertización	2	1	2
Medición manual			n. a.
Muestreo	2	1	2
Emisiones fugitivas	3	1	3
Drenaje	2	2	4

Tabla 3.17: Posibles emisiones líquidas al agua o residuos de fuentes operativas en tanques horizontales presurizados [113, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones líquidas al agua o residuos	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Drenaje	2	0	0
Limpieza	1	1	1
Muestreo	2	0	0

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

3.1.6. Tanques verticales presurizados

A. Descripción

[113, TETSP, 2001]

Véase el apartado 3.1.5 para la descripción general de los tanques presurizados de superficie. Los tanques verticales se suelen usar cuando el espacio es limitado y no se necesitan recipientes de gran capacidad. Aunque no hay limitaciones prácticas en cuanto a tamaño, es posible que el punto de equilibrio económico para la construcción de sistemas de almacenamiento alternativos, como tanques esféricos, limite el tamaño de los tanques verticales. Normalmente, los tanques verticales están limitados a 10 metros de diámetro y a 25 metros de alto (unos 1750 m³ de capacidad). Para unidades de la misma capacidad, los tanques verticales requieren menos espacio que los horizontales, pero sus exigencias son mayores por lo que respecta a la cimentación. La presión de diseño para tanques verticales depende de la relación entre la temperatura y la presión de vapor del producto almacenado.

Se necesitarán prestaciones para tratar las condiciones de vacío en aplicaciones en que se espere que la temperatura ambiente alcance el punto en que el vapor puede empezar a condensarse o en que se usan ritmos muy elevados de vaciado de líquido sin un sistema de retorno de vapor adecuado. En estos casos, el tanque deberá diseñarse para el vacío pleno.

Las boquillas son posibles fuentes de fugas. Por tanto, el número de boquillas de un tanque, especialmente por debajo del nivel del líquido, se acostumbra a minimizar para reducir el riesgo de fugas.

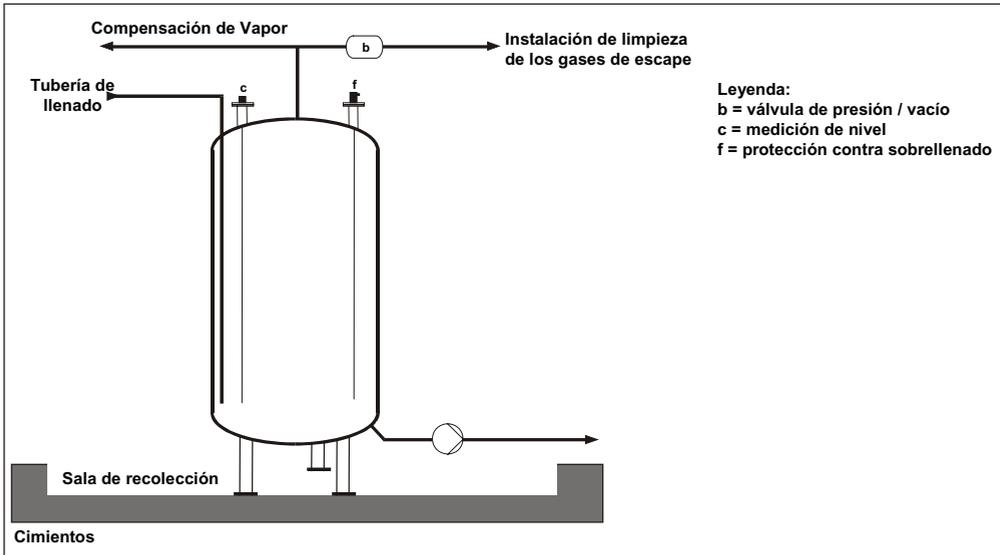


Figura 3.10: Tanque vertical presurizado con algunos equipos de control de emisiones [18, UBA, 1999]

B. Equipo relevante para el tanque y otras consideraciones

Tabla 3.18: Referencias cruzadas para equipos para tanques y accesorios de tanques verticales presurizados

		Sección
3.1.12.7 Equipos para tanques	Orificios de venteo	3.1.12.7.1
	Pozos fijos y guías	3.1.12.7.3
	Instrumentación	3.1.12.7.4
	Trampillas de acceso	3.1.12.7.5
	Desagües	3.1.12.7.6
	Mezcladores	3.1.12.7.7
	Sistemas de calentamiento	3.1.12.7.8
	Elementos de estanqueidad	3.1.12.7.9
	Válvulas	3.1.12.7.10
	3.1.12 Consideraciones asociadas a los tanques	

C. Posibles fuentes de emisión (tanques verticales presurizados)

La Tabla 3.19 y la Tabla 3.20 muestran las puntuaciones de emisión para las fuentes potenciales de emisión de los tanques verticales presurizados. La Figura 3.2 explica la metodología de cálculo de la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se consideran en el capítulo 4.

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para cada modo de almacenamiento por sí solo.

Tabla 3.19: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas con tanques verticales presurizados [113, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones a la atmósfera	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Llenado	2	1	2
Respiración			n. a.
Vaciado			n. a.
Limpieza	1	2	2
Inertización	2	1	2
Medición manual			n. a.
Muestreo	2	1	2
Emisiones fugitivas	3	1	3
Drenaje	2	2	4

Tabla 3.20: Posibles emisiones de líquidos al agua o residuos de fuentes operativas en tanques verticales presurizados [113, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones líquidas al agua o residuos	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Drenaje	2	0	0
Limpieza	1	1	1
Muestreo	2	0	0

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

3.1.7. Tanques esféricos presurizados

A. Descripción

[113, TETSP, 2001]

Normalmente los tanques esféricos tienen mayor capacidad que los tanques presurizados horizontales o verticales, a causa de su más favorable economía de escala. El límite superior práctico se puede considerar de unos 3500 m³. Estos tanques se acostumbra a construir *in situ* a partir de placas prefabricadas y subcomponentes fabricados en el taller. La presión de diseño de los tanques esféricos depende de la relación entre temperatura y presión de vapor del producto almacenado.

El número de boquillas de un tanque esférico, especialmente por debajo del nivel del líquido, se acostumbra a minimizar para reducir el riesgo de fugas.

B. Equipo relevante para el tanque y otras consideraciones

Tabla 3.21: Referencias cruzadas para tanques esféricos presurizados

		Sección
3.1.12.7 Equipos para tanques	Orificios de venteo	3.1.12.7.1
	Pozos fijos y guías	3.1.12.7.3
	Instrumentación	3.1.12.7.4
	Trampillas de acceso	3.1.12.7.5
	Desagües	3.1.12.7.6
	Elementos de estanqueidad	3.1.12.7.9
	Válvulas	3.1.12.7.10
3.1.12 Consideraciones asociadas a los tanques		

C. Posibles fuentes de emisión (tanques esféricos presurizados)

La Tabla 3.22 y la Tabla 3.23 muestran las puntuaciones de emisión para las fuentes potenciales de emisión de los tanques esféricos presurizados. La Figura 3.2 explica la metodología de cálculo de la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se consideran en el capítulo 4.

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para cada modo de almacenamiento por sí solo.

Tabla 3.22: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en tanques esféricos presurizados [113, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones a la atmósfera	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Llenado	2	1	2
Respiración			n. a.
Vaciado			n. a.
Limpieza	1	2	2
Inertización	2	1	2
Medición manual			n. a.
Muestreo	2	1	2
Emisiones fugitivas	3	1	3
Drenaje	2	2	4

Tabla 3.23: Posibles emisiones de líquidos al agua o residuos de fuentes operativas en tanques esféricos presurizados [113, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones líquidas al agua o residuos	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Drenaje	2	0	0
Limpieza	1	1	1
Muestreo	2	0	0

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

3.1.8. Tanques cubiertos de tierra (presurizados)

A. Descripción (Figura 3.11) [84, TETSP, 2001]

El almacenamiento cubierto de tierra es el sistema de almacenamiento presurizado a temperatura ambiente para gases licuados de petróleo en tanques cilíndricos horizontales situados a nivel del suelo o justo por debajo y completamente cubiertos con un relleno adecuado. Se pueden colocar varios tanques yuxtapuestos bajo una sola pila. Los tanques en cavidades subterráneas abiertas y en excavaciones no se acostumbran a considerar como tanques cubiertos.

Las cuestiones de diseño de los proyectos de almacenamiento cubierto de tierra suelen ser más complejas que las correspondientes a tanques esféricos o ahusados. Debe prestarse atención a la interacción entre el tanque y el suelo y a la corrosión para evitar fugas. Como no se prevé una inspección externa de los tanques cubiertos de tierra durante su vida operativa, debe prestarse atención al recubrimiento externo y a la aplicación de un sistema de protección catódica para minimizar el riesgo de corrosión no detectable. Los tanques deben instalarse por encima del nivel más alto conocido de la capa freática y, por tanto, la cubierta acostumbra a sobresalir por encima del suelo como una pila de tierra, de ahí el nombre de almacenamiento cubierto de tierra.

Si se coloca más de un tanque en una sola pila, entonces la distancia mínima entre los tanques dependerá de las actividades de construcción, como la soldadura, el recubrimiento, el relleno y la compactación del material de relleno. La distancia de 1 metro se considera un mínimo práctico

El diámetro máximo se suele determinar a partir de factores como la presión de diseño, las posibilidades de fabricación, los requisitos del tratamiento térmico

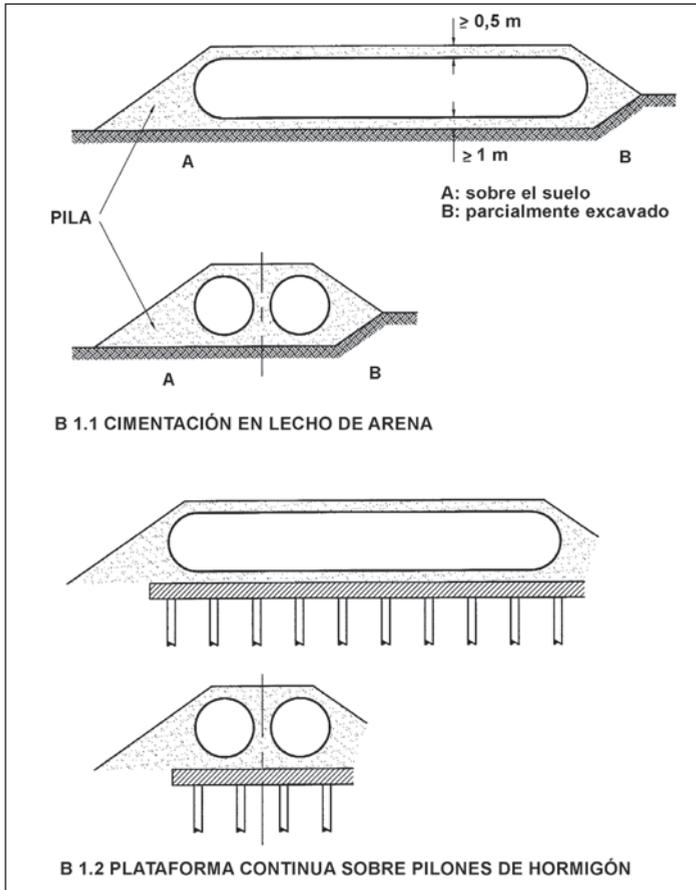


Figura 3.11: Tanques cubiertos de tierra [EEMUA Pub 190]

posterior a la soldadura, limitaciones de transporte, condiciones del subsuelo y economía de diseño (como límite práctico se puede considerar un diámetro de 8 m). La máxima longitud permitida acostumbra determinarse a partir de la estructura de soporte o las condiciones del subsuelo (especialmente si se espera un asentamiento diferencial), el espacio disponible y la economía de diseño. Para tanques que se cimientan en un lecho arenoso, la longitud del tanque no acostumbra a ser superior a ocho veces el diámetro, para evitar que el grosor de la estructura esté determinado por la deformación longitudinal del tanque a causa del asentamiento diferencial o las tolerancias de construcción del tanque y los cimientos. El volumen máximo del tanque es aproximadamente 3500 m^3 brutos; no hay tamaño mínimo del tanque, excepto por consideraciones prácticas.

Desde un punto de vista de la seguridad externa, los tanques cubiertos de tierra para gases licuados inflamables se pueden considerar como a prueba de incendios (evitan que se produzca una explosión por expansión de vapor y ebullición del líquido).

B. Equipo relevante para el tanque y otras consideraciones

Tabla 3.24: Referencias cruzadas para tanques cubiertos de tierra

		Sección
3.1.12.7 Equipos para tanques	Orificios de venteo	3.1.12.7.1
	Pozos fijos y guías	3.1.12.7.3
	Instrumentación	3.1.12.7.4
	Trampillas de acceso	3.1.12.7.5
	Desagües	3.1.12.7.6
	Elementos de estanqueidad	3.1.12.7.9
	Válvulas	3.1.12.7.10
3.1.12 Consideraciones asociadas a los tanques		

C. Posibles fuentes de emisión (tanques cubiertos de tierra presurizados)

La Tabla 3.25 y la Tabla 3.26 muestran las puntuaciones de emisión para las fuentes potenciales de emisión de los tanques cubiertos de tierra. La Figura 3.2 explica la metodología de cálculo de la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se consideran en el capítulo 4.

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para cada modo de almacenamiento por sí solo.

Tabla 3.25: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en tanques cubiertos de tierra [84, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones a la atmósfera	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Llenado	2	1	2
Respiración			n. a.
Vaciado			n. a.
Limpieza	1	2	2
Inertización	2	1	2
Medición manual			n. a.
Muestreo	2	1	2
Emisiones fugitivas	3	1	3
Drenaje	2	2	4

Tabla 3.26: Posibles emisiones de líquidos al agua o residuos de fuentes operativas en tanques cubiertos de tierra [84, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones líquidas al agua o residuos	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Drenaje	2	0	0
Limpieza	1	1	1
Muestreo	2	0	0

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

3.1.9. Tanques de espacio de vapor variable

A. Descripción

[87, TETSP, 2001]

Los tanques de espacio de vapor variable están equipados con depósitos de vapor expandibles para adaptarse a las fluctuaciones en el volumen del vapor causadas por cambios en la temperatura y la presión. Los dos tipos más habituales de tanques de espacio de vapor variable son los tanques de techo levadizo y los tanques de diafragma flexible. Los tanques de techo levadizo se usan para almacenar cualquier producto, mientras que los de diafragma flexible sólo se usan para almacenar vapor a una presión igual o muy cercana a la presión atmosférica. Estos últimos acostumbran a estar conectados a diversos tanques para reducir las emisiones por respiración y, por tanto, son una medida de control de emisiones; véase el apartado 4.1.3.13.

Los tanques de techo levadizo disponen de un techo telescópico que encaja holgadamente alrededor de la parte exterior del muro principal del tanque. El espacio entre el techo y el muro se cierra mediante un sistema de estanqueidad húmedo, que es un orificio lleno de líquido, o mediante un sistema de estanqueidad seco, que usa una tela recubierta y flexible.

El uso de un sistema de estanqueidad de agua necesita una comprobación manual o un control automático del nivel de agua en el elemento de estanqueidad. Su uso en condiciones meteorológicas frías exige una protección contra la congelación. Los sistemas de estanqueidad de tela debe comprobarse regularmente para la detección de roturas o daños que podrían provocar pérdidas de vapor. Los tanques de techo levadizo son raros en Europa para el almacenamiento de productos derivados del petróleo.

Las pérdidas en los tanques de techo levadizo se producen durante el llenado del tanque, cuando el líquido desplaza al vapor y se supera la capacidad de almacenamiento de vapor del tanque.

B. Equipo relevante para el tanque y otras consideraciones

Tabla 3.27: Referencias cruzadas para tanques de techo levadizo

		Sección
3.1.12.7 Equipos para tanques	Orificios de venteo	3.1.12.7.1
	Trampillas de medición y muestreo	3.1.12.7.2
	Pozos fijos y guías	3.1.12.7.3
	Instrumentación	3.1.12.7.4
	Trampillas de acceso	3.1.12.7.5
	Desagües	3.1.12.7.6
	Elementos de estanqueidad	3.1.12.7.9
	Válvulas	3.1.12.7.10
3.1.12 Consideraciones asociadas a los tanques		

C. Posibles fuentes de emisión (tanques de techo levadizo)

La Tabla 3.28 y la Tabla 3.29 muestran las puntuaciones de emisión para las fuentes potenciales de emisión de los tanques de techo levadizo. La Figura 3.2 explica la metodología de cálculo de la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se consideran en el capítulo 4.

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para cada modo de almacenamiento por sí solo.

Tabla 3.28: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en tanques de techo levadizo [87, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones a la atmósfera	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Llenado	2	3	6
Respiración	3	0	0
Vaciado	2	1	2
Limpieza	1	2	2
Inertización			n. a.
Medición manual	2	1	2
Muestreo	2	1	2
Emisiones fugitivas	3	1	3
Drenaje	2	1	2

Tabla 3.29: Posibles emisiones de líquidos al agua o residuos de fuentes operativas en tanques de techo levadizo [87, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones líquidas al agua o residuos	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Drenaje	2	1	2
Limpieza	1	3	3
Muestreo	2	0	0

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

3.1.10. Tanques refrigerados

A. Descripción

[84, TETSP, 2001]

Hay tres tipos de sistemas de almacenamiento refrigerado:

- contención simple,
- contención doble,
- contención completa.

La selección del tipo de sistema de almacenamiento estará considerablemente influida por la ubicación, las condiciones de funcionamiento, las instalaciones adyacentes, las cargas y las consideraciones ambientales.

Desde el punto de vista de la seguridad externa, el almacenamiento refrigerado se puede considerar para el almacenamiento a gran escala de gases licuados, como el amoníaco, el cloro, gas licuado de petróleo, etc.

Contención simple

Tanque de muro simple o doble diseñado y construido de modo que sólo el elemento de contención en contacto con el producto refrigerado debe cumplir los requisitos de ductilidad a baja temperatura para el almacenamiento del producto. La capa externa (si la hay) de un sistema de almacenamiento de contención simple sirve básicamente para la retención y protección del aislamiento y no está pensada para contener líquido en caso de fuga del producto del contenedor interno. Un tanque de contención simple suele estar rodeado por un muro o bancal bajo tradicional para contener posibles fugas.

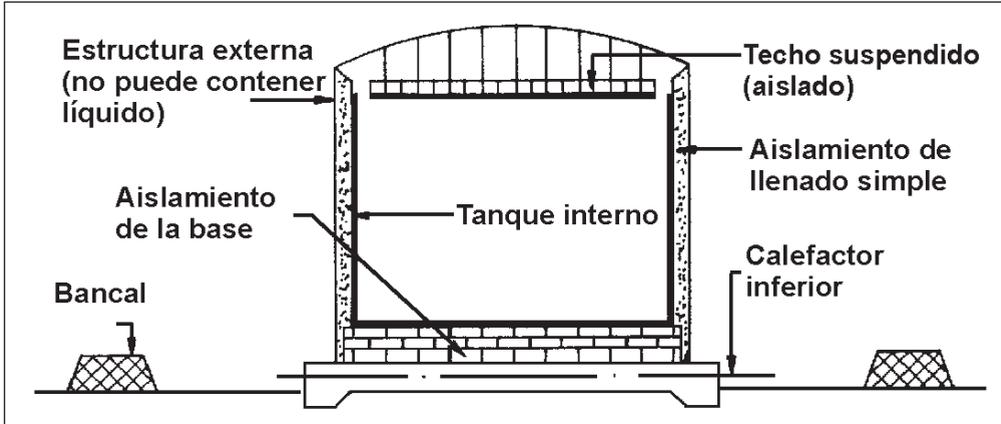


Figura 3.12: Ejemplo típico de un tanque refrigerado de contención simple [EEMUA Pub 147]

Contención doble

Tanque de muro doble diseñado y construido de modo que tanto la estructura interna como la externa puedan contener el líquido refrigerado almacenado. El tanque interno almacena el líquido refrigerado en las condiciones de funcionamiento normales, mientras que la estructura externa puede contener cualquier fuga del producto refrigerado procedente del tanque interno. La estructura externa no está diseñada para contener el vapor liberado durante la fuga.

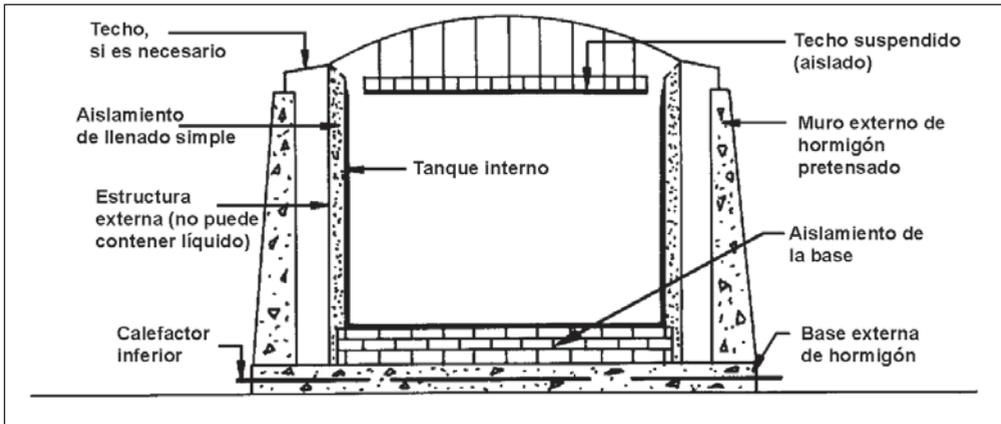


Figura 3.13: Ejemplo típico de un tanque refrigerado de contención doble [EEMUA Pub 147]

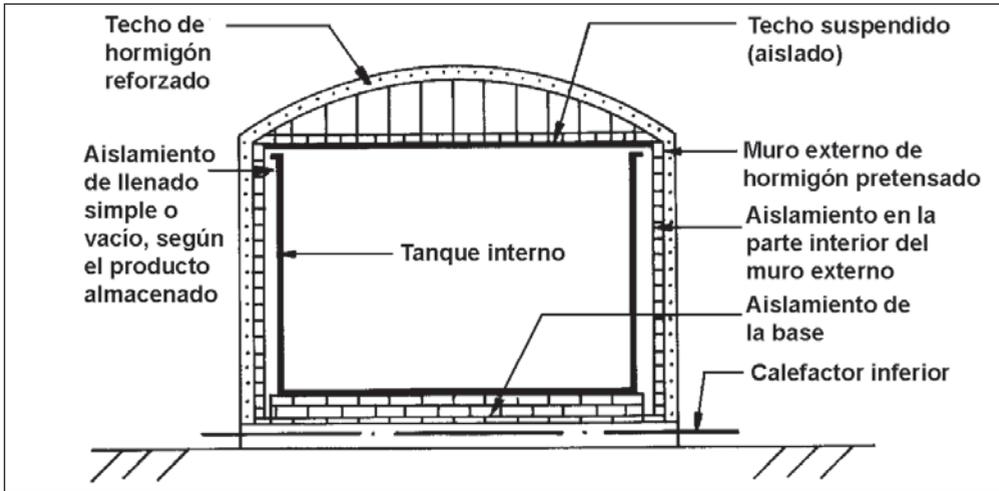


Figura 3.14: Ejemplo típico de un tanque refrigerado de contención completa [EEMUA Pub 147]

Contención completa

Tanque de muro doble diseñado y construido de modo que tanto el tanque interno como el externo pueden contener el líquido refrigerado almacenado (p. ej. amoníaco). El muro externo dista de 1 a 2 metros del muro interno. El tanque interno almacena el líquido refrigerado en las condiciones de funcionamiento normales. El techo externo está soportado por el muro externo. El tanque externo puede contener el líquido refrigerado y el vapor provocados por fugas procedentes del tanque interno.

B. Equipo relevante para el tanque y otras consideraciones

Tabla 3.30: Referencias cruzadas para tanques refrigerados

		Sección	
3.1.12.7 Equipos para tanques	Orificios de venteo	3.1.12.7.1	
	Trampillas de medición y muestreo	3.1.12.7.2	
	Pozos fijos y guías	3.1.12.7.3	
	Instrumentación	3.1.12.7.4	
	Trampillas de acceso	3.1.12.7.5	
	Desagües	3.1.12.7.6	
	Elementos de estanqueidad	3.1.12.7.9	
	Válvulas	3.1.12.7.10	
	3.1.12 Consideraciones asociadas a los tanques		

C. Posibles fuentes de emisión (tanques refrigerados)

La Tabla 3.31 y la Tabla 3.32 muestran las puntuaciones de emisión para las fuentes potenciales de emisión de los tanques de techo levadizo. La Figura 3.2 explica la metodología de cálculo de la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se consideran en el capítulo 4.

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para cada modo de almacenamiento por sí solo.

Tabla 3.31: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en tanques refrigerados [84, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones a la atmósfera	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Llenado	2	1	2
Respiración			n. a.
Vaciado			n. a.
Limpieza	1	2	2
Inertización	2	1	2
Medición manual			n. a.
Muestreo	2	1	2
Emisiones fugitivas	2	1	2
Drenaje			n. a.

Tabla 3.32: Posibles emisiones de líquidos al agua o residuos de fuentes operativas en tanques de refrigerados [84, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones líquidas al agua o residuos	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Drenaje			n. a.
Limpieza			n. a.
Muestreo			n. a.

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

3.1.11. Tanques horizontales subterráneos

A. Descripción

[18, UBA, 1999] [132, Arthur D. Little Limited, 2001]

Los tanques horizontales pueden ser (además de los superficiales) enterrados o cubiertos de tierra. Para obtener más detalles sobre los tanques cubiertos de tierra, véase el apartado 3.1.8. Los tanques subterráneos (enterrados) se suelen usar para almacenar gasolina, gasoil y otros combustibles y acostumbran a tener una capacidad inferior a 50 m³. Pueden ser de acero o de polímeros reforzados con fibra de vidrio. Véase el apartado 3.1.4 para la descripción general de los tanques atmosféricos. Véase el apartado 3.1.5 para la descripción general de los tanques horizontales a presión.

Además, los tanques subterráneos están protegidos frente a la corrosión del exterior, por ejemplo mediante una protección catódica o mediante un aislamiento, como asfalto. Los tanques pueden ser de doble muro y estar equipados con un detector de fugas, pero también pueden ser de muro simple y disponer de un sistema de contención. Evidentemente, la categoría del equipo de control de las emisiones depende de la sustancia almacenada.

Para los tanques subterráneos es importante que la construcción se realice de forma que se eviten daños procedentes de las actividades en superficie. Al almacenar sustancias combustibles el tanque se suele rodear completamente por una capa de sustancia no combustible que no dañe la capa de aislamiento, como por ejemplo arena.

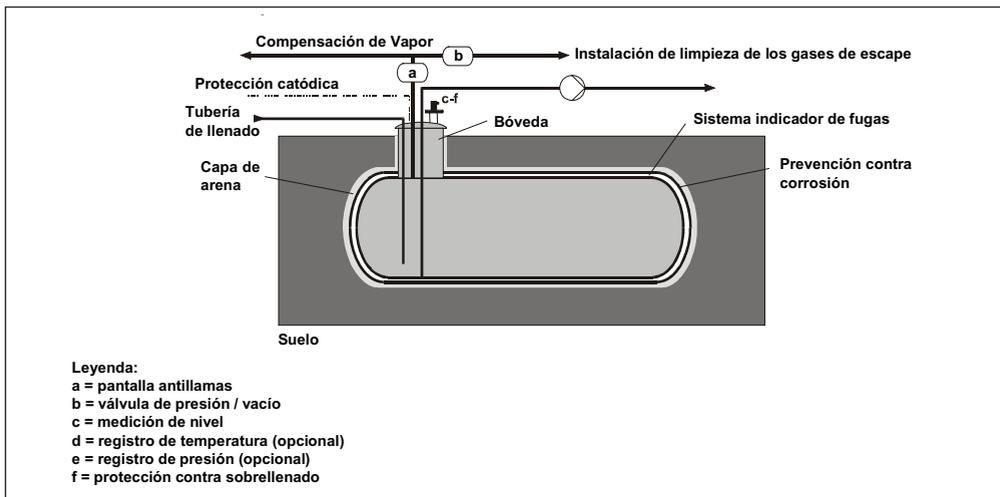


Figura 3.15: Tanque subterráneo de doble muro con algunos equipos de control de emisiones [18, UBA, 1999]

Véase el anexo 8.6 para un resumen de los requisitos de los Estados miembros por lo que respecta al almacenamiento subterráneo en general, a partir de la referencia [132, Arthur D. Little Limited, 2001], un estudio encargado por la Comisión Europea sobre el almacenamiento de gasolina que contiene metil terbutil éter (MBTE).

B. Equipo relevante para el tanque y otras consideraciones

Tabla 3.33: Referencias cruzadas para tanques horizontales subterráneos

		Sección
3.1.12.7 Equipos para tanques	Instrumentación	3.1.12.7.4
	Desagües	3.1.12.7.6
	Elementos de estanqueidad	3.1.12.7.9
	Válvulas	3.1.12.7.10
3.1.12 Consideraciones asociadas a los tanques		

C. Posibles fuentes de emisión (tanques horizontales subterráneos)

La Tabla 3.34 y la Tabla 3.35 muestran las puntuaciones de emisión para las fuentes potenciales de emisión de los tanques horizontales subterráneos. La Figura 3.2 explica la metodología de cálculo de la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se consideran en el capítulo 4.

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para cada modo de almacenamiento por sí solo.

Tabla 3.34: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en tanques horizontales subterráneos [84, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones a la atmósfera	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Llenado	2	3	6
Respiración	2	1	2
Vaciado	2	1	2
Limpieza	1	2	2
Inertización	3	1	3
Medición manual	2	1	2
Muestreo	2	1	2
Emisiones fugitivas	3	1	3
Drenaje			n. a.

Tabla 3.35: Posibles emisiones de líquidos al agua y residuos de fuentes operativas en tanques horizontales subterráneos [84, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones líquidas al agua o residuos	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Drenaje	1	1	1
Limpieza	1	2	2
Muestreo			n. a.

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

3.1.12. Consideraciones asociadas a los tanques

3.1.12.1. ASPECTOS ECONÓMICOS

Los costes de diseño, construcción y operación de tanques dependen en gran medida del tipo de tanque (p. ej. tanques de techo flotante externo, de techo fijo), del tamaño del tanque, de sus características de diseño (p. ej. tipo de cimentación, recubrimiento externo, medidas de protección ambiental y de seguridad), de los requisitos establecidos por el producto a almacenar (p. ej. recubrimiento interno, acero inoxidable frente a acero dulce, sistema de control de vapor), de las condiciones de funcionamiento, de las inspecciones y actividades de mantenimiento necesarias y, asociado con esto último, del tiempo de vida esperado. Para ciertos tipos de tanques es muy difícil ofrecer costes habituales en euros por metro cúbico de volumen de almacenamiento máximo. Por ello es importante centrarse en el «coste total de propiedad» (CTP) de un tanque; por ejemplo considerando todos los elementos que se muestran en la tabla 3.38.

Tabla 3.36: Elementos a considerar para los costes de un tanque [113, TETSP, 2001]

Elementos que se consideran habitualmente al determinar el coste unitario	Elementos que no siempre se consideran al determinar el coste unitario	Elementos que no se acostumbra a considerar al determinar el coste unitario
- diseño - construcción e instalación - puesta en funcionamiento	- inspección / mantenimiento - rediseño - documentación - funcionamiento / manipulación	- tiempo sin funcionamiento o no disponibilidad debido a períodos de inspección o mantenimiento - formación de operarios - seguridad e impacto ambiental - rendimiento / averías - obsolescencia - demolición

3.1.12.2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Descripción: El material del tanque en su conjunto debe cumplir con normas reconocidas internamente: EN 14015, API 650, BS 2654, DIN 4119, NEN 3850¹, CPR9-3, BS 2594 o BS 4994 o cualquier otra norma nacional o internacional que proporcione un grado de seguridad equivalente (véase el anexo 8.1 Códigos internacionales para una descripción general de las normas). Además, las instalaciones construidas, incluyendo tanques y cimientos, deben estar construidas, o suelen estarlo, de forma que se evitan desplazamientos y pendientes, que representan un peligro para la seguridad y estanqueidad de la instalación. Las materias primas, los procesos de producción, las dimensiones, la supervisión que se aplica y las pruebas de calidad de los tanques y de todos sus equipos deben ser las adecuadas técnicamente para cumplir su objetivo.

Las distancias entre tanques y de los tanques a los muros y a otros elementos constructivos han de ser suficientes para permitir la detección de fallos y la extinción de incendios. Se respetan estas distancias o se construyen muros de protección para minimizar el peligro en instalaciones o edificios cercanos. Para más detalles acerca de las distancias, consulte el apartado 4.1.2.3.

A continuación se presenta un resumen de aspectos y consideraciones importantes en el diseño y construcción de los tanques.

A. Ventajas de un diseño correcto

La mayoría de medidas técnicas, asociadas con la reducción o eliminación de las consecuencias de unas condiciones inusuales, se toman en la etapa de diseño. En esta etapa se valoran los riesgos de una pérdida de contención y, en consecuencia, se definen medidas técnicas de seguridad. Básicamente, en esta fase se usan los conocimientos industriales sobre la sustancia a almacenar para seleccionar las opciones de almacenamiento técnicamente adecuadas, a partir de algún tipo de análisis de riesgos o de análisis de coste-beneficio. La definición e implementación de medidas de seguridad en la fase de diseño es claramente la mejor opción y la más barata. La eficiencia de las medidas de seguridad también debe mantenerse a lo largo del tiempo, lo que puede garantizarse llevando a cabo inspecciones regulares del funcionamiento de los dispositivos de seguridad, como válvulas de escape, sistemas de bloqueo, válvulas de apertura y cierre, etc. El sistema de gestión debe organizarse de forma que estas comprobaciones se aprovechen correctamente.

En primer lugar el diseñador debe considerar el nivel de las medidas operativas adecuadas que deben seguir los operarios. Las medidas operativas, como instrucciones claras ofrecidas a los operarios, son los requisitos primarios para evitar

¹ En los casos en que el líquido almacenado tenga una gravedad específica ≤ 1 y la presión por encima del líquido se aproximadamente igual a la presión atmosférica.

sobrellenados, sobrepresiones o fugas. Unos ejemplos mostrarán lo eficientes que pueden ser estas medidas:

- Instrumentos usados para controlar el funcionamiento normal del sistema de almacenamiento, como indicadores de nivel o de presión, informan al operario cuando un parámetro del proceso se halla en riesgo de superar su límite prefijado. El operario podrá reaccionar rápidamente.
- Durante las inspecciones regulares, los operarios pueden reaccionar tras observar parámetros que superan sus límites prefijados (p. ej. vibración de una tubería, ruido de una bomba, olores inusuales). Pueden comprobar la presencia de fugas y pueden detectar pequeñas fugas antes de que se conviertan en vertidos incontrolados, etc.
- Mientras se llena un recipiente no equipado con instrumentación de nivel o alarmas, la presencia de un operario evitará el sobrellenado.

Debe mantenerse la eficiencia de estas medidas. Este el papel, entre otros, de los sistemas de gestión, que suelen permitir:

- una formación regular de los operarios,
- una actualización de las instrucciones de funcionamiento,
- una calibración regular de los instrumentos.

Las inspecciones ambientales de la instalación de almacenamiento deben tenerse en cuenta en esta etapa; tienen un papel básico en la determinación de las posibles fuentes de emisión. Deben realizarse comprobaciones regulares para garantizar que las emisiones permanecen dentro de los límites permitidos. Además, pueden informar al operador cuando el rendimiento se vuelve inaceptable. Para obtener más detalles consulte el apartado 4.1.2.2.

Las inspecciones mecánicas de la instalación de almacenamiento pueden tener un papel clave en la prevención de incidentes. En la etapa de diseño se acostumbra a plantear la base de un plan de inspección con la selección de los componentes. En general, estos componentes, o toda la instalación de almacenamiento, se basan en la experiencia con:

- la sustancia,
- el componente,
- la combinación componente / sustancia.

Algunos ejemplos son:

- adecuación de los materiales de construcción y de los procedimientos de montaje (p. ej. soldadura),
- selección de los fabricantes de los equipos,
- correcta especificación de equipos como bombas, válvulas, instrumentos y juntas,

- disposición del emplazamiento, p. ej. comprobación de la presencia de un fácil acceso a los equipos.

El sistema de gestión tiene la responsabilidad del plan de inspección. Éste intenta establecer reglas para definir frecuencias de inspección, criterios de aceptación de defectos, etc.

B. Requisitos de diseño

Los requisitos de diseño dependen de los siguientes aspectos (no se muestran en orden de importancia):

- El propósito del tanque de almacenamiento; por ejemplo si el tanque forma parte de un proceso de fabricación o es una unidad independiente que proporciona espacio de almacenamiento a corto o largo plazo.
- Los otros requisitos establecidos por el propietario u operador y el cliente (p. ej. volumen de almacenamiento, accesibilidad, intervalos óptimos de inspección durante el período de funcionamiento mediante la elección de materiales «mejores» o la adición de tolerancias de corrosión en el grosor de diseño de los componentes, tipo de mezclador, etc.).
- Las normas y directrices nacionales, junto con los requisitos legales locales más específicos (como regulaciones antiincendios, distancias mínimas entre tanques, etc.).
- El tipo de producto a almacenar y las correspondientes (adecuadas) condiciones de almacenamiento (es decir, atmosférico, presurizado o refrigerado).
- La presión de vapor del producto, que determina la necesidad del almacenamiento atmosférico o a baja presión (p. ej. un tanque de techo flotante externo o de techo fijo) o almacenamiento presurizado.
- Los requisitos de seguridad (sistemas y tipo de instrumentación) y ambientales (controles de emisión).
- Los condicionantes que determinan la ubicación, como otras instalaciones cercanas (distancias de seguridad), la distancia a los muelles y compartimentos de carga de camiones, la distancia a instalaciones o áreas residenciales fuera de los límites del emplazamiento, etc.
- Los requisitos específicos de diseño necesarios en función de las condiciones climáticas o del suelo.

La determinación del diseño correcto en general también deberá incluir una consideración acerca del tipo de cimentación y la capacidad de carga del suelo subyacente. Los aspectos asociados a la capacidad de carga suelen incluir el potencial del emplazamiento, teniendo en cuenta los efectos de las cargas cíclicas debidas a los sucesivos llenado y vaciados del tanque. Unos emplazamientos grandes y poco uniformes pueden provocar un abombamiento excesivo de las estructuras de los tanques de techo flotante, lo que puede causar que el techo se encalle, con la consiguiente reducción de la seguridad y las emisiones adicionales a la atmósfera.

C. Requisitos constructivos

Los requisitos constructivos dependen de los siguientes aspectos, aunque no están limitados a ellos:

- el tipo y tamaño del tanque;
- el material seleccionado para el tanque (p. ej. acero dulce, acero inoxidable, aluminio o materiales sintéticos);
- número de apéndices y accesorios, extensión de las operaciones automatizadas mediante instrumentos;
- ubicación del tanque en un lugar específico (p. ej. accesibilidad, tipo de precauciones y distancias de seguridad, tiempo de trabajo disponible);
- tiempo de construcción disponible;
- disponibilidad de consejo experto sobre la construcción en el emplazamiento (p. ej. tipo del método de montaje del tanque);
- disponibilidad de equipos de construcción en el emplazamiento (como grúas);
- requisitos establecidos por las autoridades (locales), como permisos de construcción, normas de construcción locales, etc.

D. Códigos, normas y directrices

A continuación se presentan algunos ejemplos de códigos, normas y directrices internacionales. Para una descripción más completa, consulte el anexo 8.1 Códigos internacionales.

Almacenamiento en superficie: EN 14015, API 650, API 652, DIN 4119, BS 2654, EEMUA 180, EEMUA 183, EMC 1980, CODRES 1991, CPR 9-2/3.

Almacenamiento subterráneo: API 1615, ASTM D4021-92, DIN 6600, DIN EN 976, BS EN 976, AFNOR NF EN 976, CPR 9-1.

Almacenamiento presurizado: ASME Section II, ASME Code Cases: BPV, BS PD 5500, PD 6497, EEMUA 190, CODAP 95, Reglas de recipientes a presión (código neerlandés).

Almacenamiento refrigerado: EN 14620, API 620, NFPA 57, NFPA 59, BS 7777, EEMUA 147, IP Model Code of Safe Practice Volume 1-Part 9, CPR 13.

3.1.12.3. PUESTA EN FUNCIONAMIENTO [113, TETSP, 2001]

La puesta en funcionamiento, inicial o tras una parada del tanque, exige la realización de una inspección completa, tanto del interior como del exterior de tanque, para garantizar que se ha completado cualquier tarea mecánica y eléctrica y que

todo el equipo es seguro. Esta inspección debe cubrir, por lo menos, los siguientes aspectos:

- cimientos, muros aislantes, suelos y sistemas de drenaje,
- todas las conexiones eléctricas y tomas de tierra, protección catódica y accesorios eléctricos,
- escaleras, pasarelas y barandas,
- medidas de control de emisiones,
- mezcladores, orificios de venteo y válvulas de escape de presión y de vacío,
- instrumentación, incluyendo medidores de nivel y de temperatura, así como todas las alarmas,
- todas las válvulas de aspiración, descarga y drenaje,
- sistemas contra incendios, incluyendo la inyección de espuma,
- sistemas de seguridad.

Antes del funcionamiento, deben retirarse todas las herramientas, restos y residuos del tanque, tanto interna como externamente, y todas las válvulas deben dejarse en posición cerrada (con la excepción de la válvula de drenaje del techo en los tanques de techo flotante externo). Todos los accesorios del techo también deben estar en posición cerrada. Normalmente se realiza una inspección final del interior antes de cerrar las trampillas de acceso.

3.1.12.4. GESTIÓN

[113, TETSP, 2001]

Las operaciones más importantes a considerar en este documento son las que pueden crear una liberación de material procedente del tanque, y se describen en la Figura 3.1.

Estas operaciones se pueden clasificar en operaciones rutinarias (p. ej. llenado, vaciado, medición de nivel, toma de muestras, etc.) y operaciones no rutinarias previas al mantenimiento y la inspección. Los sistemas de gestión deben tratar ambos tipos, pero los medios son diferentes; los sistemas de control con instrumentos a menudo ayudan a los operarios al tratar con operaciones rutinarias, mientras que las operaciones no rutinarias se suelen realizar manualmente, siguiendo instrucciones de funcionamiento especiales.

3.1.12.5. FUNCIONAMIENTO

[113, TETSP, 2001]

El funcionamiento de un tanque significa el uso normal de este tanque para almacenar líquidos o gases licuados así como las actividades principales que permiten

su uso seguro (p. ej. gestión, mantenimiento, inspección, etc.). Las medidas para garantizar el correcto funcionamiento de los tanques se describen en el apartado 4.1.2.

3.1.12.6. DESMANTELAMIENTO Y DEMOLICIÓN [37, HSE, 1998] [113, TETSP, 2001]

Desmantelamiento

Al desmantelar un tanque se lleva a cabo una operación de “aseguramiento”. El método variará según la ubicación del tanque, el producto que contenía y si debe retirarse del uso de forma permanente o sólo temporal. La práctica habitual es realizar una evaluación de riesgos en la etapa de planificación para identificar posibles peligros que pudieran aparecer durante el desmantelamiento. Los pasos preliminares en el proceso de desmantelamiento (también aplicables a las canalizaciones) son:

- aislamiento de los tanques de todo proceso, planta o recipiente de almacenamiento eliminando secciones de tuberías o instalando válvulas de aislamiento. Las válvulas de cierre no son adecuadas;
- máximo vaciado posible de los tanques;
- apertura de las trampillas de acceso para ayudar a la ventilación.

Los tanques que se desmantelan de forma permanente se aseguran mediante una limpieza exhaustiva y una liberación de gas. Todos los puntos de entrada (trampillas de acceso, etc.) deben cerrarse físicamente o vallarse para evitar accesos no autorizados. Alternativamente, se pueden retirar grandes secciones de la estructura del tanque para imposibilitar el desarrollo de una atmósfera nociva. Los tanques que se desmantelan de forma temporal se aseguran mediante una limpieza exhaustiva, como en el caso anterior, o mediante un llenado con agua o con un gas inerte como el nitrógeno. Si se usa un gas inerte, se debe etiquetar el tanque de forma que quede claro que contiene un gas inerte que podría provocar asfixia si se entra en el tanque. Igual que en el caso anterior, todos los puntos de entrada deben cerrarse físicamente. Una inspección regular garantiza que los tanques permanecen en un estado seguro. Los tanques de acero al carbono que se han llenado con agua durante algún tiempo estarán sometidos a corrosión interna; cuando se vacía el agua la superficie interna se oxidará rápidamente, lo que provocará una disminución peligrosa de oxígeno en la atmósfera del tanque.

En varios Estados miembros, las tareas se deben realizar según algún permiso o procedimiento, que especifique:

- el área a la que se aplica el permiso,
- las tareas a llevar a cabo y el método a utilizar,

- el plazo de validez del permiso,
- las precauciones para garantizar que se han retirado todos los materiales inflamables y que no puedan reintroducirse accidentalmente.

Demolición

La demolición de tanques que han contenido líquidos inflamables o peligrosos de otro tipo es potencialmente muy peligrosa. Los trabajos a alta temperatura pueden provocar una explosión si se realizan antes de que los tanques y las conducciones se hayan drenado y limpiado adecuadamente. Los tanques que han contenido líquidos inflamables necesitan una preparación especial para eliminar los vapores inflamables o los líquidos y fangos asociados. En los muros y en la parte inferior del techo puede haber residuos que emitan vapores inflamables al calentarse. A veces, puede ser aconsejable contratar una empresa especializada de demolición de tanques con la experiencia y los equipos pertinentes.

3.1.12.7. EQUIPAMIENTO DEL TANQUE [67, Rentz et al, 1998]

En un tanque de almacenamiento se pueden instalar los siguientes equipos, en función del modo de almacenamiento para el que se ha diseñado: respiraderos, trampillas de acceso, pozos de medida de nivel por flotador, pozos de toma de muestras / trampillas de medición, respiraderos periféricos, desagües del tejado, soportes del techo, pozos guía no ranurados, pozos guía ranurados / de toma de muestras e igualadores de presión. Estos accesorios se instalan en la estructura o proporcionan determinadas funciones. Pueden ser una fuente de emisiones a la atmósfera ya que exigen perforaciones en el techo.

Por ejemplo, los accesorios para techos flotantes externos son: trampillas de acceso, pozos guía, soportes del techo, igualadores de presión y pozos de medida de nivel automática por flotador.

3.1.12.7.1. **Respiraderos**

[113, TETSP, 2001] [41, Concaawe, 1999] [84, TETSP, 2001] [3, CPR, 1984, 37, HSE, 1998]

El desahogo puede obtenerse con los siguientes tipos de respiraderos, en función del tipo de tanque:

Orificios de venteo

Los tanques de almacenamiento que operan exclusivamente a presión atmosférica (es decir, sin condiciones de presión o de vacío en el tanque) están equipados con orificios de venteo en el techo. Estos orificios no se pueden cerrar y están pensados

para garantizar que, en las condiciones de máximo flujo de vapor (es decir, cuando las bombas de alimentación funcionan a capacidad máxima y las condiciones ambientales producen al mismo tiempo las mayores tasas de evaporación), no se produzcan sobrepresiones o subpresiones peligrosas.

Válvulas de alivio de presión / vacío (VEPV)

Las válvulas de alivio de presión evitan una acumulación excesiva de presión, mientras que las válvulas de vacío evitan el colapso del tanque a causa de una presión relativa negativa en su interior. Ambas funciones se combinan en una válvula de alivio de presión / vacío (VEPV), también conocida como válvula de respiración. En la norma BS 2654 (Códigos internacionales), se recomienda el uso de estas válvulas en tanques atmosféricos de techo fijo en los que se almacena un producto con un punto de ignición inferior a 38 °C y en tanques que contienen un producto que se calienta por encima de su punto de ignición. La Tabla 3.8 muestra los tres tipos básicos de tanques de techo fijo, junto con sus especificaciones de presión y de vacío.

Los tanques de gas licuado siempre están equipados con válvulas de alivio de presión. En determinados diseños, por ejemplo en los tanques refrigerados, también se instalan válvulas de alivio de vacío. Estas válvulas protegen el tanque frente a desviaciones de presión provocadas por averías del proceso o situaciones de incendio.

Válvulas de purga

Los tanques de techo flotante se pueden equipar con válvulas de purga (también llamadas igualadores de presión) para liberar aire y vapor de la parte inferior del techo flotante durante el llenado inicial y para permitir la ventilación si se vacía el tanque de forma que el techo repose sobre sus soportes. Normalmente se abren automáticamente antes de que el techo repose sobre sus soportes, evitando que surjan condiciones de vacío, pero en circunstancias normales estas válvulas están cerradas. El tamaño de la válvula de purga se basa en el caudal del producto (y por tanto del vapor) al llenar el tanque. Es importante disponer de los soportes de las válvulas de purga, que abren la válvula, diseñados de forma similar a los soportes del techo, es decir, disponer de unas especificaciones operativas y de mantenimiento. Un cambio en los ajustes de los soportes del techo siempre deben implicar un cambio similar en los soportes de las válvulas, para evitar un mal funcionamiento del sistema global.

Respiraderos de los elementos de estanqueidad periféricos

En los tanques de techo flotante externo se necesita un respiradero en el sistema de estanqueidad periférico para las juntas que tienen un espacio de vapor bajo la unión periférica primaria, por ejemplo, las juntas de contacto gaseoso y las juntas de tipo zapata mecánica. Las juntas de contacto líquido no necesitan un respiradero periférico. La función principal del respiradero periférico es permitir

el escape hacia el exterior de bolsas de vapor a presión desde la zona situada debajo del elemento de estanqueidad periférico. Bajo la plataforma del techo flotante se pueden formar bolsas de vapor que luego pueden llegar al espacio periférico. Una sobrepresión en el espacio periférico puede dañar el material del elemento de estanqueidad periférico y, por tanto, reducir la eficiencia del sistema de sellado.

El escape de emergencia lo puede proporcionar:

- Orificios de venteo mayores o adicionales,
- trampillas de acceso o tapas de trampillas que se levantan en caso de presión interna anormal,
- dispositivos de escape específicos, por ejemplo en tanques presurizados.

Otra posible opción es que los tanques con techo fijo que contienen líquidos inflamables se pueden construir de forma que, en caso de explosión, el techo se pueda romper por la parte superior del tanque. La soldadura entre el techo y el muro es, por tanto, más débil que la soldadura entre el fondo y el muro.

3.1.12.7.2. *Trampillas de medición y muestreo*

Los productos almacenados en tanques de almacenamiento atmosféricos se suelen sondear y medir a través de un pozo fijo o de medición. Los instrumentos miden parámetros como la altura, la masa, la temperatura, la densidad o la presión. Para evitar emisiones a la atmósfera el medidor o el pozo fijo se cierra con una tapa en condiciones normales. Las trampillas con autocierre y accionadas con pedal estancas al vapor son habituales. La medición automática es posible y tiene la ventaja sobre el sondeo manual que permite la determinación de la cantidad de líquido sin abrir el tanque.

Las varillas de nivel son fuentes potenciales de ignición, ya que pueden producir calentamiento por fricción, chispas o electricidad estática. Normalmente están hechas de aleaciones que no producen chispas y se conectan a tierra tal como se describe, por ejemplo, en la norma BS 5958 (véase el anexo 8.1 Códigos internacionales). Las cintas de inmersión pueden ser una alternativa para medir la profundidad.

Para un tanque de techo flotante externo, no se recomienda el acceso al techo durante el funcionamiento sin un equipo de respiración y ayuda.

3.1.12.7.3. *Pozos fijos y guías*

[114, UBA, 2001] [41, Concawe, 1999]

Los pozos fijos y las guías se instalan para:

- permitir el acceso para medir el nivel de líquido,
- permitir el acceso para medir la temperatura del líquido,
- permitir el acceso para tomar muestras del líquido,
- evitar la rotación del techo.

Para un tanque de techo flotante externo se recomienda por lo menos un pozo fijo. Si se usan dos (uno para la medición de nivel automática y otro para el sondeo manual) acostumbra a ser adyacentes y fijados al tanque (preferiblemente al suelo) de la misma forma. Si se realizan mediciones manuales y automáticas desde el mismo pozo fijo, se necesita un método para retirar el dispositivo de medición automática y permitir una toma de muestras y medición seguras y minimizar la probabilidad de derrames.

3.1.12.7.4. *Instrumentación*

[41, Concawe, 1999] [18, UBA, 1999] [3, CPR, 1984] [113, TETSP, 2001]

La instrumentación local y remota debe cumplir las normas pertinentes; el Manual de Medición de Petróleo del Instituto del Petróleo y el Código de Seguridad Eléctrica proporcionan consejos específicos, así como otros códigos, normas y directrices de este campo; véase el anexo 8.1 Códigos internacionales.

Control de nivel y protección contra sobrellenado

Durante los procedimientos de llenado, no suele bastar con controlar y registrar sólo el nivel de llenado. A causa del peligro de sobrellenado y la consiguiente contaminación del suelo y el agua, los tanques de almacenamiento se pueden equipar con sistemas de protección contra sobrellenado, de forma que los procedimientos de llenado se puedan interrumpir automáticamente antes de alcanzar el nivel máximo autorizado de líquido. Cuando el llenado no se realiza automáticamente, por ejemplo si se realiza manualmente, el tanque suele estar equipado con una alarma que indica cuándo se alcanza el máximo nivel autorizado de líquido. Cuando la alarma se apaga el personal puede detener a tiempo el procedimiento de llenado.

Pantallas antillamas

Los tanques de almacenamiento atmosférico que contienen productos volátiles pueden tener una atmósfera inflamable por encima del líquido. Para evitar la ignición de estos vapores por parte de una fuente externa (p. ej. relámpagos) en los orificios de venteo se pueden instalar pantallas antillamas. Sin embargo, éstas pueden quedar parcial o totalmente bloqueadas (por hielo, polvo, productos poli-

merizados, ceras, etc.). Como los orificios de venteo están diseñados e instalados para evitar una sobrepresión o subpresión en el tanque, la instalación de estos dispositivos puede comprometer la integridad del tanque, a no ser que se inspeccionen y se mantengan regularmente.

Las válvulas de alivio de presión suelen estar diseñadas de forma que el flujo de vapor hacia el exterior de la válvula supere la velocidad de propagación de la llama en el vapor, evitando así el ingreso de la llama en el interior del tanque. A causa de problemas de bloqueo con las pantallas antillamas descritos antes, éstos no se acostumbran a instalar en serie con las VEPV; véase API 650 (anexo 8.1 –Códigos internacionales).

Detección de fugas y gas

Se usan instrumentos y analizadores para detectar fugas líquidas y/o gaseosas y derrames. Un caso particular es la verificación del nivel de trabajo seguro de contaminación en recipientes antes del mantenimiento interno. A continuación se presenta una lista no exhaustiva de algunas técnicas habituales:

- las fugas de gas se pueden detectar con explosímetros, analizadores de vapores orgánicos generales o analizadores de gas específicos;
- las fugas de líquidos se pueden detectar en los sistemas de recolección de derrames. Los sensores de nivel o de nivel de interfase se pueden usar para sustancias orgánicas insolubles, mientras que los pH-metros y los conductímetros se pueden usar cuando se manipulan ácidos o bases.

3.1.12.7.5. *Trampillas de acceso*

[41, Concauwe, 1999] [113, TETSP, 2001]

Para tanques atmosféricos verticales de superficie, las trampillas de acceso en la base del tanque permiten el acceso durante una parada del tanque y la liberación de gas del mismo. También son la ruta de acceso para retirar cualquier resto sólido que haya quedado en el tanque durante las tareas de limpieza. Por cuestiones de seguridad, los tanques de diámetro superior a 25 metros necesitan por lo menos dos trampillas de acceso.

En los tanques horizontales (tanto atmosféricos como a presión) se acostumbra a disponer de una trampilla de acceso en la parte superior del tanque.

3.1.12.7.6. *Desagües*

[41, Concauwe, 1999] [37, HSE, 1998] [113, TETSP, 2001] [3, CPR, 1984]

En los tanques atmosféricos un desagüe permite la eliminación del agua que se acumula en la base del tanque. Esto se consigue de la mejor forma mediante un

colector de descarga interno con una conducción que lleve a una salida externa con válvula. En el caso de líquidos inflamables es práctica habitual cerrar las válvulas cuando no están en uso. Se necesita un control de funcionamiento estricto para evitar un desagüe accidental del contenido del tanque por dejar la válvula abierta tras empezar a drenar agua.

Un tanque de techo flotante externo requiere un segundo tipo de desagüe, para proporcionar el drenaje del agua de lluvia del techo. El agua se drena a través de una tubería articulada o manguera flexible interna con una válvula en su extremo final, en la base del tanque. Se recomienda una válvula antiretorno cerca del techo para evitar que fugas del producto hacia el desagüe alcancen el techo y se evaporen. Normalmente el desagüe del techo está cerrado en la base para evitar cualquier fuga del producto. Sin embargo, esto debe complementarse mediante un programa de drenaje regular, especialmente durante o después de una tormenta; en caso contrario existe un riesgo grave de hundimiento del techo con las consiguientes emisiones importantes. Así y todo, la referencia [3, CPR, 1984] afirma que el desagüe siempre debe estar abierto. En este caso las fugas del producto hacia la línea de drenaje del techo causarían un vertido.

Para los tanques de almacenamiento a presión, los sistemas de drenaje acostumbran a ser dos válvulas de bolas de cierre manual separadas por lo menos 600 mm de unas conducciones adecuadamente apoyadas y con pendiente hacia la salida. Las dos válvulas de drenaje se colocan para permitir su operación simultánea por parte de un solo operario. La válvula corriente abajo suele ser una válvula de resorte de acción rápida (resorte de cierre) que funciona como un «control de hombre muerto». El punto de salida del desagüe se puede conectar a un sistema de tratamiento de vapor (p. ej. una oxidación térmica) a través de un depósito de extracción de vapor.

3.1.12.7.7. *Mezcladores* [41, Concauwe, 1999]

Los mezcladores se usan en tanques de mezcla y para evitar la acumulación de sólidos y fangos en la base del tanque. Normalmente su mantenimiento se puede realizar sin necesidad de detener el funcionamiento del tanque. Debe considerarse la instalación de dispositivos de advertencia para indicar fallos en los cojinetes o en los elementos de estanqueidad mecánicos, especialmente cuando no se supervisa el funcionamiento durante largos períodos de tiempo. Ello garantizará que se tomen rápidamente las medidas necesarias en caso de un problema que podría derivar en un incidente de seguridad o ambiental.

3.1.12.7.8. *Sistemas de calentamiento*

[3, CPR, 1984] [37, HSE, 1998] [113, TETSP, 2001] [18, UBA, 1999]

Para el calentamiento de los productos almacenados en tanques (p. ej. para facilitar el bombeo a causa del cambio en la viscosidad), se instala un conjunto de conductos dentro del tanque, a través de los cuales circula vapor, agua caliente o aceite caliente para el intercambio de calor. Las normas para la construcción de tanques con calentamiento y el equipo de calentamiento asociado se pueden hallar, por ejemplo, en BS 799, BS 5410 o BS 806 (véase el anexo 8.1 Códigos internacionales).

Normalmente la tubería de salida está situada encima del serpentín o elemento calentador para evitar la exposición de cualquier superficie interna calentada o de cualquier sensor de control de temperatura. Una segunda tubería de desagüe se instala a un nivel más bajo de forma que se pueda vaciar el tanque completamente cuando sea necesario. Una válvula de cierre bloqueada o una brida ciega evitará el uso de esta tubería de desagüe durante el funcionamiento normal. Una alternativa es instalar una alarma de nivel bajo de líquido unida a un dispositivo de corte del calentador o una alarma para identificar cambios importantes. En cualquier caso, un sistema de calentamiento puede estar equipado con diferentes niveles de instrumentación, en función de las especificaciones del producto y de los requisitos de funcionamiento.

La temperatura o la presión del producto almacenado se controlan siempre que sea necesario a causa de las condiciones de funcionamiento o las características de las sustancias; por ejemplo, en tanques con calentamiento o si se necesita una inertización del gas.

3.1.12.7.9. *Elementos de estanqueidad*

[149, ESA, 2004]

El objetivo principal de un elemento de estanqueidad es contener el líquido o los gases licuados y evitar o reducir las emisiones. Una parte importante de las emisiones fugitivas son pérdidas procedentes de fuentes no estancas, como tanques de almacenamiento, líneas abiertas (no inertizadas), válvulas de escape de presión, orificios de venteo, quemadores, sistemas de purga y rebosaderos. En otros casos, estas pérdidas pueden ser causadas por fugas en los elementos de estanqueidad de piezas determinadas del equipo, como:

- agitadores / mezcladores,
- compresores,
- bridas,
- bombas,

- cubiertas del tanque,
- válvulas.

Algunas causas importantes de fugas son:

- elementos de estanqueidad externos o internos mal instalados,
- errores de instalación o de construcción,
- desgaste,
- fallos de los equipos,
- contaminación de los elementos de estanqueidad,
- condiciones de proceso incorrectas.

3.1.12.7.10. *Válvulas*

Las válvulas forman parte tanto del tanque como del sistema de transporte. Se describen en el apartado 3.2.2.6.

3.1.13. Contenedores y almacenamiento de contenedores

A. Descripción

[7, CPR, 1992, 36, HSE, 1998, 116, Associazione Italiana Commercio Chimico, 2001]

Los contenedores se clasifican en:

- botellas de vidrio o frascos de hasta 5 litros,
- botellas de plástico o bidones de hasta 60 litros,
- bombonas metálicas de hasta 25 litros,
- bidones de acero o de poliéster reforzado con fibra de vidrio de hasta 300 litros,
- bolsas de papel (sólo para sólidos) o de plástico
- grandes recipientes para productos a granel (GRG).

El material del contenedor debe ser perfectamente compatible con las propiedades físico-químicas del líquido para garantizar que no se produce interacción alguna que pudiera provocar una reacción o fugas. En Códigos internacionales se listan los códigos más importantes. Para sustancias peligrosas los contenedores deben ser del tipo de rendimiento UN adecuado y comprobado. Para sustancias líquidas, para evitar la dispersión del producto, es obligatorio respetar un porcentaje de llenado del contenedor, en función de las características del producto. Los contenedores deben ser robustos y disponer de cubiertas que encajen bien para no provocar vertidos si reciben golpes.

Para el transporte y almacenamiento de productos químicos se usan diversos tipos de contenedores:

Contenedores de vidrio

Las botellas de vidrio no suelen superar una capacidad de 5 litros y a menudo no superan los 2,5 litros. En la mayoría de casos, las botellas o frascos de vidrio están pensados para un uso inmediato, por ejemplo en un laboratorio.

Bidones

Normalmente se trata de contenedores cilíndricos con un techo y un fondo planos. Sin embargo, la forma depende del producto almacenado. Pueden ser de acero, plástico, madera, cartón u otros materiales.

Contenedores de material plástico compuesto

Los contenedores de este tipo están formados por un contenedor interno de plástico y un envoltorio externo (de cartón, madera, etc.). Una vez ensamblados no pueden desmontarse.

Contenedores de material compuesto

Este tipo de contenedores constan de un contenedor interno de vidrio, porcelana o gres y un envoltorio externo (de cartón, madera, etc.). Una vez ensamblados no pueden desmontarse. La mayoría de estos contenedores se pueden «reacondicionar» si los contenedores usados han sido comprobados según procedimientos oficiales.

Grandes recipientes (GRG)

Estos contenedores tienen diferentes formas, tamaños y capacidades, pero con los siguientes límites superiores de capacidad:

- 3 m³ para GRG rígidos,
- 1,5 m³ para GRG flexibles.

Los GRG más usados habitualmente son:

- GRG metálicos: completamente hechos de un material metálico, tanto el contenedor como el material auxiliar.
- GRG flexibles: hechos de un material textil, pelificado o de otro tipo (eventualmente también de un material compuesto), así como el equipo auxiliar.
- GRG de plástico rígido: tienen estructura de plástico rígido, con o sin un esqueleto para el soporte mecánico y el equipo auxiliar.

Evidentemente, los contenedores se pueden usar para almacenar todo tipo de materiales en industrias diversas. En esta sección sólo se considerará el almacenamiento de materiales peligrosos.

La Figura 3.16 muestra que los contenedores con materiales peligrosos pueden almacenarse en (I) cabinas sueltas, (II) cabinas fijas, (IIIa) celdas de almacenamiento en un edificio de varios pisos, (IIIb) celdas de almacenamiento en un edificio de un solo piso en (IV) edificios de almacenamiento y en (V) parques de almacenamiento. Los armarios son unidades muy pequeñas y no se describen más en este documento; en las secciones siguientes se describen los tres últimos sistemas.

Aún más importante que una instalación de almacenamiento adecuada por lo que respecta a materiales peligrosos, es la determinación de si es necesaria la compartimentación. En principio, cada categoría de material peligroso debe almacenarse separadamente de otros materiales peligrosos. Las combinaciones compatibles e incompatibles de materiales peligrosos se muestran en el anexo 8.3.

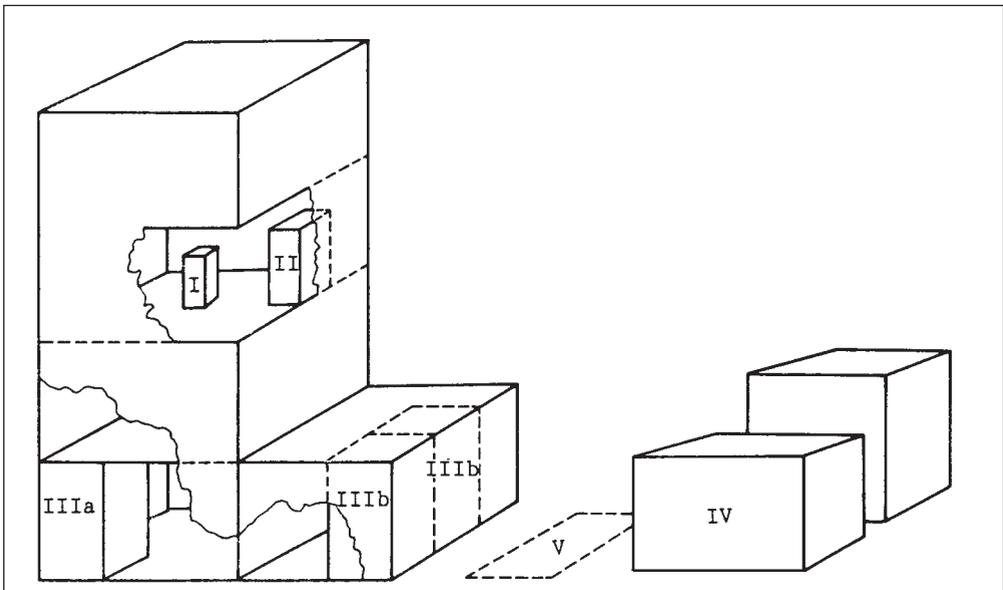


Figura 3.16: Posibles ubicaciones de almacenamiento de materiales peligrosos en contenedores [7, CPR, 1992]

B. Posibles fuentes de emisión (contenedores)

En el almacenamiento de materiales peligrosos envasados no se producen emisiones operativas. Las únicas posibles emisiones proceden de incidentes y accidentes (graves), que se consideran en el capítulo 4.

3.1.13.1. CELDAS DE ALMACENAMIENTO

A. Descripción

[7, CPR, 1992, 36, HSE, 1998]

Una celda de almacenamiento que contenga materiales peligrosos normalmente estará ubicada en la planta baja. Una celda de almacenamiento en un edificio de pisos no acostumbrará a contener más de 500 litros de materiales peligrosos, mientras que una en un edificio de planta única contendrá un máximo de 2500 litros de materiales peligrosos. Cuando la celda de almacenamiento tiene acceso directo a una sala de trabajo en la que se realicen actividades que puedan conllevar peligro de incendio, la celda se equipa con una puerta de cierre automático. Una celda de almacenamiento puede contener una cabina suelta o fija para almacenar de forma independiente materiales peligrosos (compartimentación) que puedan reaccionar con otras sustancias almacenadas y generar gases o vapores peligrosos o dar lugar a situaciones peligrosas como explosiones, pulverización de materiales peligrosos o un calentamiento excesivo.

B. Posibles fuentes de emisión (celdas de almacenamiento)

En el almacenamiento de materiales peligrosos envasados no se producen emisiones operativas. Las únicas posibles emisiones proceden de incidentes y accidentes (graves), que se consideran en el capítulo 4.

3.1.13.2. EDIFICIOS DE ALMACENAMIENTO

A. Descripción

[HSE, 1998 #35; CPR, 1991 #8; CPR, 1992 #7, [43, Austria, 1991, 45, Vlaanderen,] [117, Verband Chemiehandel, 1997, 127, Agrar, 2001]

Los edificios de almacenamiento se usan para almacenar todo tipo de sustancias, desde bidones con líquidos inflamables o bombonas con gas presurizado hasta productos envasados como compuestos químicos y plaguicidas o residuos químicos a la espera de su eliminación. Pueden ser un edificio independiente o formar parte de otro edificio.

Un buen diseño y construcción de edificios de almacenamiento que contengan materiales peligrosos se centra en sucesos como incendios, explosiones y emisiones de sustancias peligrosas, especialmente para evitarlos o controlarlos lo máximo posible. Además, son importantes las buenas prácticas de gestión y los procedimientos operativos, que se describen en el capítulo 4.

Existen muchas normas diferentes entre los Estados miembros por lo que respecta a la resistencia contra incendios, tamaño de los compartimentos y medios de escape y ayuda para los bomberos en edificios de almacenamiento. Las diferencias en estas

normas están asociadas a aspectos como qué cantidad de materiales peligrosos se almacena, y de qué tipo. Ello implica que las descripciones de los edificios de almacenamiento que se presentan en esta sección son generales y sólo sirven como ejemplos.

Normalmente los edificios de almacenamiento se construyen con materiales no combustibles, aunque no siempre. El grado de resistencia al fuego que ofrece el edificio determina las distancias mínimas que deben respetarse a los límites del emplazamiento y a otros edificios. Con un grado suficiente de resistencia al fuego el edificio de almacenamiento también puede formar parte de otra instalación.

La compartimentación de espacios con la intención de almacenar materiales peligrosos independientemente, se puede llevar a cabo mediante mamparas o añadiendo una zona sin almacenamiento. Algunas bodegas disponen de un almacén incorporado dentro de la bodega principal. Este almacén interior se puede usar para almacenar materiales peligrosos particulares, como líquidos altamente inflamables, gases o peróxidos. Las combinaciones compatibles e incompatibles de materiales peligrosos se muestran en el anexo 8.3.

El suelo del edificio acostumbra a ser de materiales no combustibles, estanco y resistente a las sustancias almacenadas. El techo del edificio es resistente a fuegos transportados por el viento y su estructura es resistente al fuego para evitar la entrada de fuego en el almacén. El grado de resistencia al fuego depende de factores diversos, como la cercanía del almacén a los límites del emplazamiento o a otros edificios y el tipo de sustancias almacenadas.

Un edificio de almacenamiento suele disponer de una buena ventilación para evitar la formación de una mezcla explosiva (a causa de fugas, por ejemplo) y para extraer vapores desagradables o perjudiciales.

El uso de equipos eléctricos puede provocar chispas que pueden iniciar un incendio en el edificio de almacenamiento. Por tanto, es importante usar equipos eléctricos con protección contra explosiones. Sin embargo, en la mayoría de casos bastará con una correcta toma de tierra de la estructura de acero.

El grado de prevención de incendios y de medidas contra incendios depende de muchos factores, como la inflamabilidad de las sustancias almacenadas, la inflamabilidad del envase y de la cantidad almacenada. Si se produce un incendio en una instalación de almacenamiento, puede que se libere parte de las sustancias almacenadas. Igualmente, se acostumbran a tomar medidas para evitar que los agentes extintores contaminados lleguen al suelo, al alcantarillado o a las aguas superficiales. Los sistemas para recolectar los agentes extintores se pueden construir de muchas formas; consulte el apartado 4.1.7.5 para obtener información más detallada. La capacidad del sistema de recolección depende del tipo y la cantidad de las sustancias almacenadas y se describe con más detalle en el apartado 4.1.7.5.

B. Posibles fuentes de emisión (edificios de almacenamiento)

En el almacenamiento de materiales peligrosos envasados no se producen emisiones operativas. Las únicas posibles emisiones proceden de incidentes y accidentes (graves), que se consideran en el capítulo 4.

3.1.13.3. ALMACENAMIENTO EN EXTERIORES (PARQUES DE ALMACENAMIENTO)

A: Descripción

[7, CPR, 1992, 8, CPR, 1991, 35, HSE, 1998]

En principio, las medidas y prestaciones para el almacenamiento de materiales peligrosos (envasados) en exteriores no difieren de las correspondientes para el almacenamiento en interiores (véase el apartado 3.1.13.2). La cantidad y el tipo de sustancias almacenadas determina las distancias mínimas a respetar hasta los límites del emplazamiento y a edificios cercanos. Para proteger el material almacenado de la luz solar y de la lluvia, el almacén debe disponer de un techo.

Las prestaciones de recolección que se aplican normalmente para el derrame de sustancias y, eventualmente, para los posibles agentes extintores, son las mismas que las que se aplican en los edificios de almacenamiento y se describen en el apartado 3.1.13.2. Cuando el almacén no está cubierto con un techo, suele haber prestaciones para el vertido controlado del agua de lluvia (posiblemente contaminada).

El grado de prevención de incendios y de medidas contra incendios depende de muchos factores, como la inflamabilidad de las sustancias almacenadas, la inflamabilidad del envase y de la cantidad almacenada.

B. Posibles fuentes de emisión (parques de almacenamiento)

En el almacenamiento de materiales peligrosos envasados no se producen emisiones operativas. Las únicas posibles emisiones proceden de incidentes y accidentes (graves), que se consideran en el capítulo 4.

3.1.14. Estanques y balsas

A. Descripción

[113, TETSP, 2001]

Los estanques y las balsas se usan en la industria y la agricultura. En la industria se suelen usar para contener aguas de todo tipo, como agua para refrigerantes y agua contra incendios, aguas residuales no tratadas y aguas tratadas; también se

pueden usar para almacenar salmuera. En la agricultura se usan para almacenar y tratar purines y ensilados. No se usan para productos volátiles derivados del petróleo ni para productos químicos.

La distinción entre estanques y balsas no está definida de forma estricta y se trata de términos a menudo intercambiables; además, también se usan otros términos para este sistema de almacenamiento, como embalse. Hay dos tipos de estanques y balsas: los naturales y los artificiales.

El tamaño y forma de un estanque o una balsa es un aspecto específico del emplazamiento. Son habituales los estanques rectangulares con una relación entre longitud y anchura de 3 a 1 o inferior. La profundidad también es específica de cada emplazamiento, pero acostumbra a situarse entre 2 y 6 metros.

Construcción: Siempre que la topografía y las condiciones del suelo sean las adecuadas, los estanques y balsas con contención por banco de tierra pueden ofrecer un almacenamiento rentable en caso de sustancias no peligrosas, como agua contra incendios o aguas residuales tratadas. Los estanques pueden construirse por encima o por debajo del nivel del suelo y el nivel a menudo queda determinado por las ventajas económicas de equilibrar la excavación y el llenado (véase la Nota 18 de la Guía de Prevención de la Contaminación publicada por la Agencia de Medio Ambiente del Reino Unido).

En los casos en que se considere que existe un riesgo de contaminación de aguas superficiales, el estanque debe impermeabilizarse, con un recubrimiento de arcilla o una membrana sintética o bien con una capa de cemento.

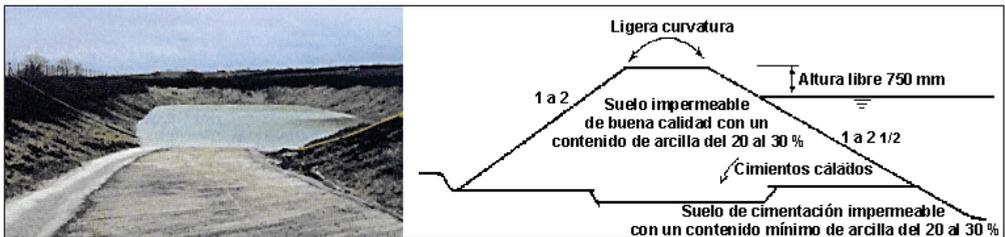


Figura 3.17: Ejemplo de una balsa de purines con banco de tierra y características del diseño

B. Posibles fuentes de emisión (estanques y balsas)

La Tabla 3.37 y la Tabla 3.38 muestran las puntuaciones de emisión para las fuentes potenciales de emisión de estanques y balsas. La Figura 3.2 explica la metodología de cálculo de la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se consideran en el capítulo 4.

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para cada modo de almacenamiento por sí solo.

Tabla 3.37: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en estanques y balsas [87, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones a la atmósfera	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Llenado	2	3	6
Operación	3	3	9
Vaciado	2	1	2
Limpieza	1	2	2
Inertización			n. a.
Medición manual			n. a.
Muestreo			n. a.
Emisiones fugitivas			n. a.
Drenaje			n. a.

Tabla 3.38: Posibles emisiones al agua o residuos de fuentes operativas en estanques y balsas [87, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones líquidas al agua o residuos	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Drenaje	2	1	2
Limpieza	1	3	3
Muestreo	2	0	0

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

3.1.15. Cavidades excavadas (atmosféricas)

Véase el apartado 3.1.16 para obtener más detalles sobre cavidades excavadas a presión y el apartado 3.1.17 para cavidades salinas lixiviadas. La descripción general que se presenta a continuación se aplica a las cavidades atmosféricas y a las cavidades a presión. Es importante destacar que la mayoría de cavidades excavadas son presurizadas. [150, Geostock, 2002]

Al construir una cavidad excavada en la roca, deben tenerse en cuenta tres factores principales:

1. el hidrocarburo a almacenar debe ser menos denso que el agua,
2. el lecho de roca debe ser lo suficientemente duro y homogéneo,
3. las cavidades excavadas deben excavarse por debajo del nivel freático y hasta una profundidad en que la presión freática alrededor de la cavidad sea superior a la presión dentro de la cavidad.

La diferencia en la densidad entre el hidrocarburo a almacenar y el agua, junto con la ubicación de la cavidad lo suficientemente por debajo del nivel freático, garantizan que la presión hidrostática de las aguas subterráneas que rodean la cavidad sea superior a la del hidrocarburo almacenado, con lo que se evitan escapes de gas y líquido. El agua de filtraciones que entra en la cavidad a través de grietas en la masa rocosa se acumula en el lecho freático y se extrae. Existen diversas variedades de lecho rocoso aceptable, como rocas intrusivas, metamórficas, calcáreas, algunas rocas sedimentarias y, en algunos casos, incluso rocas volcánicas. [81, Neste Engineering, 1996]

A. Descripción [81, Neste Engineering, 1996]

Existen dos sistemas básicos de almacenamiento en cavidades excavadas:

Cavidades con lecho freático fijo

En el fondo de la cavidad se mantiene una capa de agua, normalmente de profundidad inferior a un metro. El nivel de agua se mantiene constante gracias a un aliviadero provisto de una bomba. Las cavidades construidas según el principio de lecho freático fijo pueden almacenar, por ejemplo, petróleo, GLP, gasolina, gasoil, fuel ligero y fuel pesado. Véase la Figura 3.18.

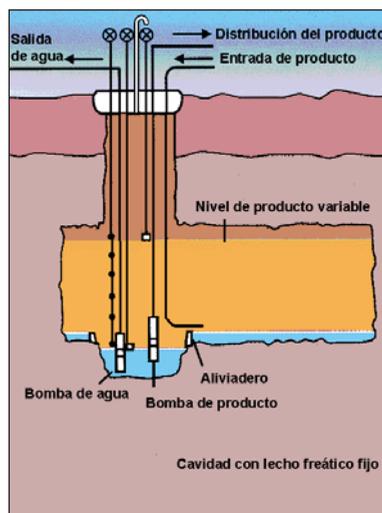


Figura 3.18: Ilustración esquemática de una cavidad con lecho freático fijo [81, Neste Engineering, 1996]

Cavidades con lecho freático variable

En este tipo de cavidades rocosas, el nivel del hidrocarburo almacenado se mantiene a una altura casi constante cambiando la profundidad de la capa de agua. La cavidad siempre está llena y la cantidad de agua es mínima cuando el hidrocarburo llena totalmente la cavidad; a la inversa, cuando no hay hidrocarburo en la cavidad, ésta se llena de agua. Véase la Figura 3.19.

Las cavidades construidas con lecho variable se usan, por ejemplo, para almacenar gasolina. Los aceites pesados que deben almacenarse a alta temperatura y otros hidrocarburos que requieren una gran capacidad de extracción, se almacenan en cavidades con una cámara de bombas seca en el nivel inferior de una o más de las cavidades.

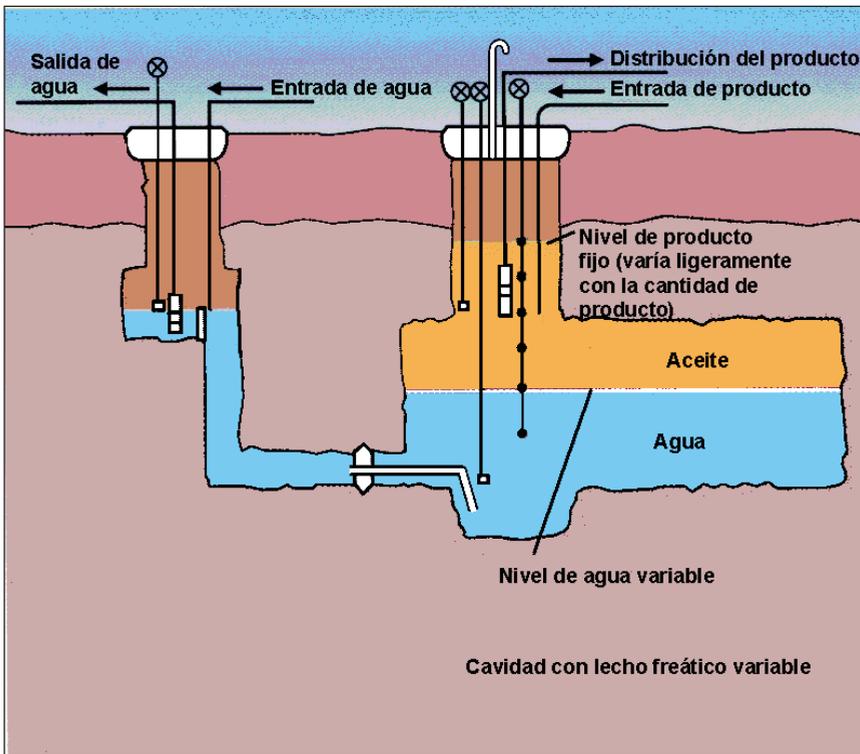


Figura 3.19: Ilustración esquemática de una cavidad con lecho freático variable [81, Neste Engineering, 1996]

Los volúmenes habituales para este tipo de cavidad se sitúan entre 50 000 y 580 000 m³. Sin embargo, las cavidades excavadas presurizadas para GLP local pueden ser más pequeñas, con volúmenes de 8000 m³, como por ejemplo el almacén de GLP de Sennecy, en Francia; véase el apartado 3.1.16.

La refinería de Porvoo en Finlandia utiliza cavidades de lecho fijo, ya que así necesitan menos agua y, en consecuencia, menos tratamiento del agua.

La profundidad a la que se sitúa una cavidad varía en función de la presencia de rocas adecuadas y del hidrocarburo a almacenar. Las profundidades habituales son de 40 a 170 metros. En la refinería de Porvoo, por ejemplo, una cavidad presurizada que almacena GLP está situada a 140 metros por debajo de la capa freática; véase la Figura 3.20.

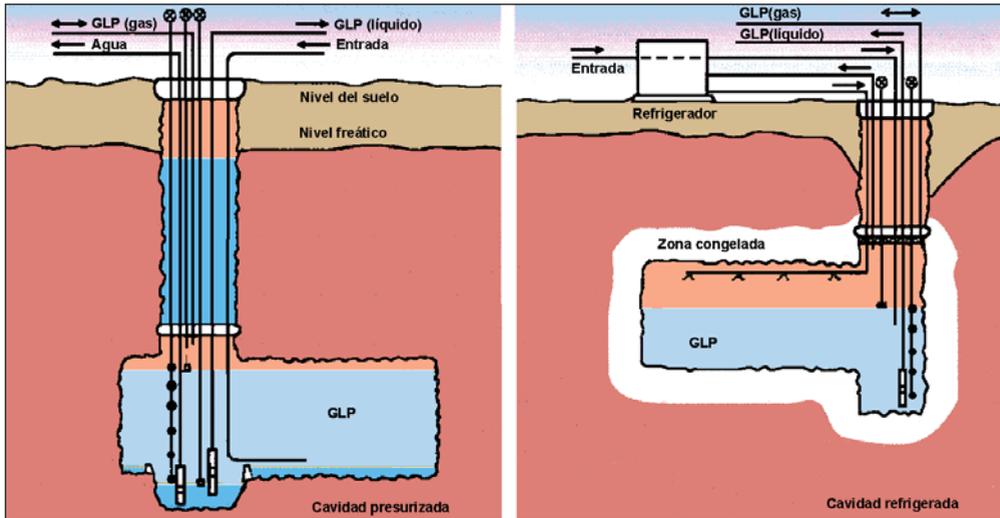


Figura 3.20: Ilustración esquemática de una cavidad presurizada y de una cavidad refrigerada para el almacenamiento de GLP [81, Neste Engineering, 1996]

Construcción

[81, Neste Engineering, 1996, 150, Geostock, 2002]

La construcción de cavidades en roca, económicamente viables, depende en gran medida de unas rocas y unas condiciones freáticas favorables. Se realizan estudios en el emplazamiento para determinar la calidad de la roca, la solidez, posibles discontinuidades, la dirección de esquistosidades y otras informaciones valiosas. Todos estos datos se recogen y se analizan para determinar los planes de excavación. La estructura del lecho rocoso se estudia mediante la cartografía de los afloramientos, sondeos por refracción sísmica, perforación por percusión y perforación con corona de diamante. En esta etapa también es una buena práctica medir la tensión inicial del lecho rocoso y realizar pruebas de compatibilidad entre el hidrocarburo y la roca. Las condiciones freáticas se estudian mediante observaciones en pozos y pruebas de bombeo. Una vez finalizado este estudio, se puede escoger la ubicación exacta y la dirección longitudinal de las cavidades.

Aspectos económicos

[81, Neste Engineering, 1996]

Los principales factores que afectan a los costes de construcción son:

- la calidad del lecho rocoso,
- las condiciones freáticas,
- el tamaño y dimensiones de las cavidades de almacenamiento,
- el número de unidades de almacenamiento y el volumen total del proyecto,
- el tipo de hidrocarburo a almacenar y el método de almacenamiento,
- la cantidad necesaria de refuerzos y de relleno,
- los requisitos para purificar el agua de vertidos y la necesidad de reponer los acuíferos,
- las cargas de diseño de las estructuras de hormigón,
- los tipos de instalación de entrada y descarga,
- los equipos y el grado de control automático y remoto,
- el valor de la roca excavada, que se puede usar para tareas de nivelación, construcción de carreteras, etc.

El aspecto más costoso es la excavación de la cavidad en la roca, que puede llegar a representar por lo menos la mitad de la inversión total. Los costes de instalación y de las estructuras de refuerzo y de hormigón se hallan alrededor de un 10 % cada uno. Todos los costes dependen en gran medida de las condiciones locales. El coste marginal de una cavidad excavada en roca es muy pequeño en relación con su volumen, lo que favorece el almacenamiento de grandes cantidades de hidrocarburos. En una comparación con tanques de acero de superficie, el umbral de rentabilidad en esta ubicación concreta de Finlandia es de 50 000 m³. Para GLP la cifra es considerablemente menor (aproximadamente 10 000 m³). La Figura 3.21 muestra los costes de inversión relativos para almacenamiento de petróleo en tanques de superficie y cavidades excavadas sin revestimiento bajo las condiciones del emplazamiento finlandés. La Figura 3.22 muestra los costes de inversión relativos para alternativas de almacenamiento de GLP en las condiciones del emplazamiento finlandés. Los costes de funcionamiento y de mantenimiento de cavidades subterráneas, por ejemplo en la refinería de Porvoo, no son superiores a un sexto de los correspondientes para tanques de acero de superficie. Esta cifra se basa en operaciones diarias de 5 millones de metros cúbicos de cavidades subterráneas y 2 millones de metros cúbicos de tanques de acero de superficie. Sin embargo, los costes para el desmantelamiento de la instalación pueden ser significativos y dependerán de muchos aspectos, como las sustancias que se han almacenado y la calidad del lecho rocoso.

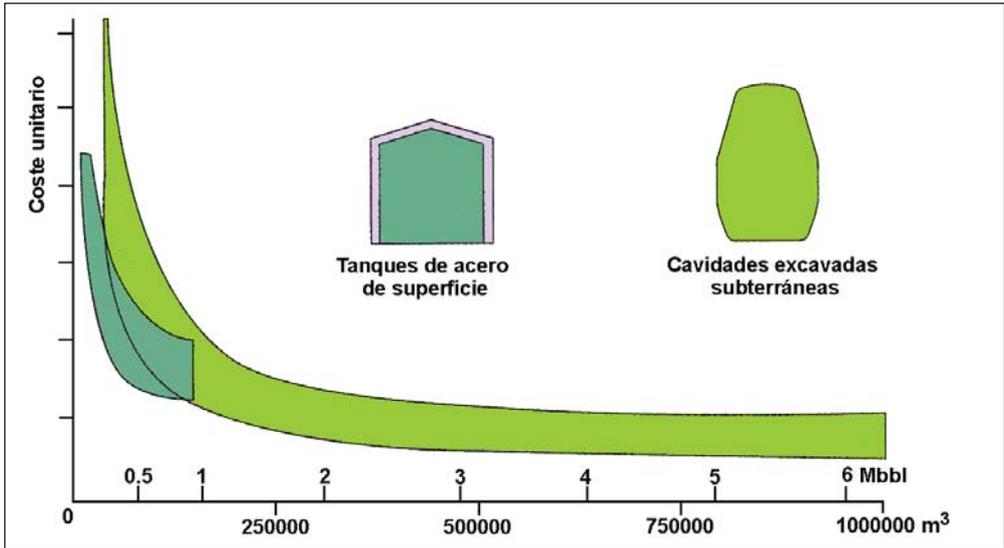


Figura 3.21: Costes de inversión relativos para almacenamiento de petróleo en tanques de superficie y cavidades excavadas sin revestimiento en una refinería de Finlandia [81, Neste Engineering, 1996]

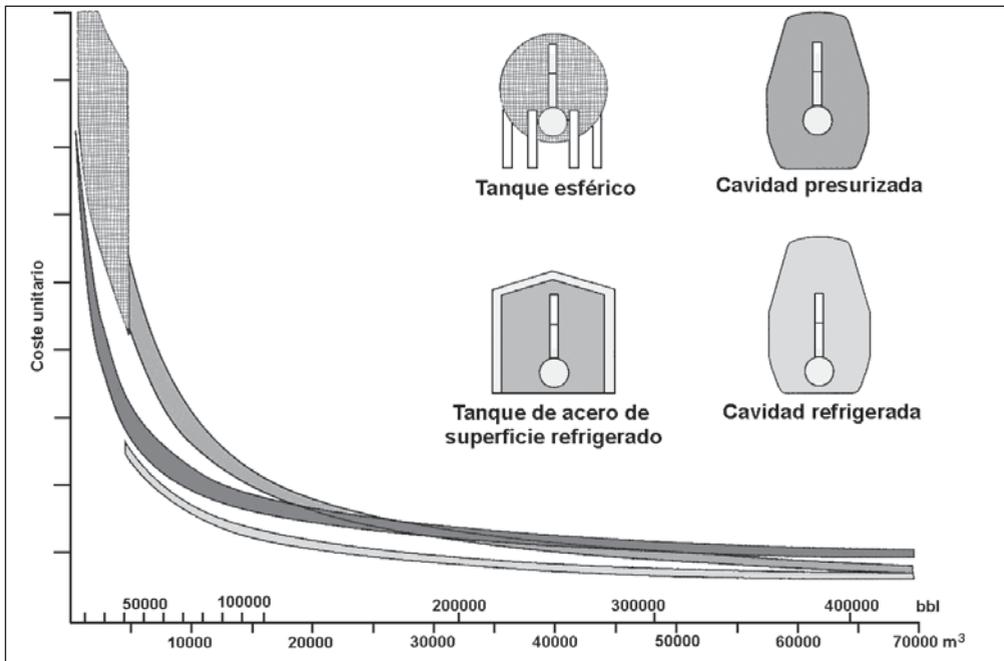


Figura 3.22: Costes de inversión relativos para alternativas de almacenamiento de GLP en una refinería de Finlandia [81, Neste Engineering, 1996]

Emisiones y consumo

[81, Neste Engineering, 1996] [150, Geostock, 2002]

Una unidad de almacenamiento subterránea se protege frente a fuerzas y riesgos externos. El riesgo de explosiones de gas es mínimo y el hidrocarburo almacenado no puede incendiarse bajo ninguna circunstancia, gracias a la ausencia de oxígeno. Las emisiones a la atmósfera son bajas, debido a las temperaturas estables y a la posibilidad de almacenar el hidrocarburo a presión. Como toda la cavidad de almacenamiento es prácticamente invisible, el paisaje no se ve afectado y queda disponible para otros propósitos industriales.

Por su propia naturaleza, el almacenamiento subterráneo proporciona una gran resistencia intrínseca frente a terremotos.

Los principales consumidores de energía son las bombas usadas para llenar y vaciar las cavidades. El consumo de energía para llenar y vaciar los tanques de almacenamiento de superficie es menor que en el caso de las cavidades. En cambio, en las condiciones climáticas finlandesas, el consumo de energía para calentar determinados tipos de sustancias en tanques de superficie es superior que en el caso de las cavidades.

Puede producirse cierta acumulación de sedimentos en el fondo de las cavidades cuando se almacena petróleo crudo, pero en la refinería de Porvoo, en los 30 años de funcionamiento de las cavidades, no ha habido necesidad alguna de extraer residuos de las cavidades. Los únicos residuos significantes son las piezas de recambio de las bombas, que deben cambiarse en caso de avería y en las tareas de mantenimiento.

Una desventaja de las cavidades excavadas en general son las infiltraciones de agua oleaginosa, que se extrae y se trata en una planta de tratamiento de aguas residuales.

Las cavidades de lecho freático fijo necesitan menos agua (y, en consecuencia, menos tratamiento de las aguas) que las cavidades de lecho freático variable.

B. Equipo relevante y otras consideraciones

[81, Neste Engineering, 1996]

Los conductos e instrumentos de una cavidad excavada subterránea se acostumbran a instalar en postes verticales construidos desde la cavidad hacia la superficie. Las cavidades se equipan con una instrumentación completa para controlar la presión, para controlar los niveles de la superficie del producto almacenado y para comprobar el funcionamiento del equipo.

En general, las bombas usadas en cavidades son bombas de motor sumergible suspendidas (colgadas) de las tuberías de descarga, situadas en el poste vertical que lleva a la cavidad. Las bombas también se pueden instalar en una sala de bombas seca situada en la parte inferior de la cavidad y separada de la misma (véase la Figura 3.23). En este tipo de diseño se usan bombas centrífugas convencionales.

Normalmente, el control y la operación de las instalaciones de almacenamiento en cavidades se realizan desde una sala de control. A causa de su funcionamiento remoto y parcialmente automática, las cavidades a veces no disponen de personal.

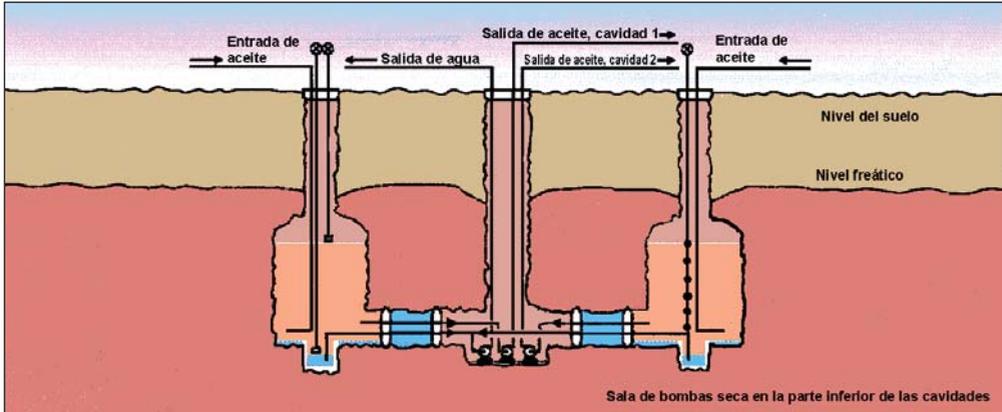


Figura 3.23: Esquema de una sala de bombas seca en la parte inferior de las cavidades [81, Neste Engineering, 1996]

C. Posibles fuentes de emisión (cavidades excavadas atmosféricas)

La Tabla 3.39, la Tabla 3.41 y la Tabla 3.42 muestran las puntuaciones de emisión para las posibles fuentes de emisión en cavidades excavadas atmosféricas. Las tablas muestran que, en una cavidad con lecho freático variable, las emisiones a la atmósfera son muy bajas, ya que el nivel de gas en la cavidad se mantiene más o menos constante durante el llenado extrayendo agua. Además, las emisiones por respiración son inferiores ya que, con la ayuda del nivel de agua, el volumen de gas se mantiene lo más bajo posible. Sin embargo, la extracción de agua puede provocar emisiones al agua.

La Figura 3.2 explica la metodología de cálculo de la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se consideran en el capítulo 4.

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para cada modo de almacenamiento por sí solo.

Tabla 3.39: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en cavidades excavadas atmosféricas de lecho fijo [87, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones a la atmósfera	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Llenado	2	3	6
Respiración	2	1	2
Vaciado	2	1	2
Limpieza			n. a.
Inertización			n. a.
Medición manual	2	1	2
Muestreo	2	1	2
Emisiones fugitivas	3	1	3
Drenaje	2	1	2

Tabla 3.40: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en cavidades excavadas atmosféricas de lecho variable [176, EIPPCB Ineke Jansen, 2004]

Fuente potencial de emisiones a la atmósfera	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Llenado	1	1	1
Respiración	1	1	1
Vaciado	2	1	2
Limpieza			n. a.
Inertización			n. a.
Medición manual	2	1	2
Muestreo	2	1	2
Emisiones fugitivas	3	1	3
Drenaje	2	1	2

Tabla 3.41: Posibles emisiones al agua o residuos de fuentes operativas en cavidades excavadas atmosféricas [87, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones líquidas al agua o residuos	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Drenaje	2	1	2
Limpieza			n. a.
Muestreo	2	0	0

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

3.1.16. Cavidades excavadas (a presión)

A. Descripción

[113, TETSP, 2001, 150, Geostock, 2002]

Véase el apartado 3.1.15 para obtener una descripción general del almacenamiento en cavidades excavadas. El gas licuado a presión también se puede almacenar en cavidades rocosas excavadas o en cavidades salinas lixiviadas (consulte el apartado 3.1.17 para obtener más información acerca de las cavidades salinas lixiviadas).

El principio del almacenamiento en cavidades rocosas excavadas se basa en que las cavidades se instalan a una profundidad por debajo del nivel del suelo tal que la presión estática de la capa freática es superior a la presión del hidrocarburo almacenado. Por lo tanto, se establece un gradiente de presión hacia el interior de la cavidad, con lo que se evitan fugas del producto hacia los estratos rocosos.

El espacio de vapor en cavidades excavadas a presión no contiene aire y, tal como se comenta en el apartado 3.1.15, el hidrocarburo almacenado no puede incendiarse en ninguna circunstancia, gracias a la ausencia de oxígeno. Durante las operaciones de llenado, las cavidades excavadas a presión están diseñadas y operadas de tal modo que se garantiza que el vapor se condensa en líquido, evitando así el aumento de presión en la cavidad y las potenciales emisiones a la atmósfera.

El agua superficial que se introduce se recoge en un pozo de agua en el suelo de la cavidad y luego se bombea a la superficie. El gas licuado se extrae mediante bombas sumergidas.

B. Equipo relevante y otras consideraciones

[150, Geostock, 2002]

El equipo relevante, accesorios, etc. para cavidades excavadas a presión es similar al usado para las cavidades excavadas atmosféricas (véase el apartado 3.1.15). En este campo, se han realizado importantes mejoras de diseño durante los últimos 30 años, especialmente por lo que respecta a las medidas de seguridad. Por ejemplo, las cavidades excavadas a presión de construcción reciente están equipadas con válvulas de seguridad en el fondo de la cavidad que aíslan totalmente el hidrocarburo almacenado de la superficie en caso de emergencia o de detección de gas; véase la Figura 3.24. Este tipo de medidas ambientales y de seguridad también se instalan en algunos casos en cavidades ya existentes. Otros equipos que pueden mejorar el funcionamiento y la seguridad son:

- medición redundante de nivel,
- dispositivos automáticos de detección de sobrellenado,
- inyección de agua de emergencia,
- funciones específicas de diseño para un mantenimiento seguro.

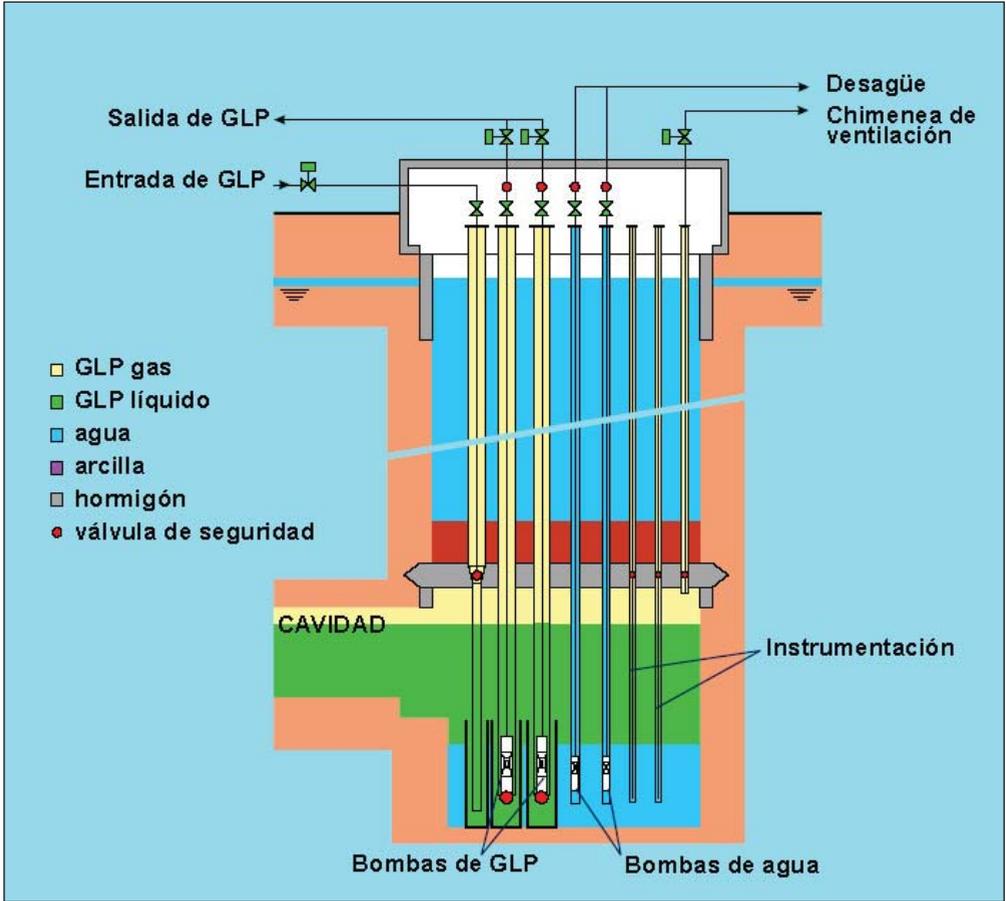


Figura 3.24: Almacenamiento subterráneo de GLP con ejes de operación con instrumentación [175, TWG, 2003]

C. Posibles fuentes de emisión (cavidades excavadas a presión)

La Tabla 3.42 y la Tabla 3.43 muestran las puntuaciones de emisión para las fuentes potenciales de emisión en cavidades excavadas a presión. La Figura 3.2 explica la metodología de cálculo de la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se consideran en el capítulo 4.

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para cada modo de almacenamiento por sí solo.

Tabla 3.42: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en cavidades excavadas a presión. [87, TETSP, 2001, 150, Geostock, 2002]

Fuente potencial de emisiones a la atmósfera	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Llenado	2	1	2
Respiración			n. a.
Vaciado	2	1	2
Limpieza			n. a.
Inertización			n. a.
Medición manual			n. a.
Muestreo			n. a.
Emisiones fugitivas	2	1	2
Drenaje			n. a.

Tabla 3.43: Posibles emisiones al agua o residuos de fuentes operativas en cavidades excavadas a presión [87, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones líquidas al agua o residuos	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Drenaje			n. a.
Limpieza			n. a.
Muestreo			n. a.

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

3.1.17. Cavidades salinas lixiviadas

A. Descripción

[113, TETSP, 2001, 150, Geostock, 2002]

Véase el apartado 3.1.15 para obtener una descripción general del almacenamiento en cavidades excavadas y el apartado 3.1.16 en cavidades excavadas a presión. Los hidrocarburos líquidos y los gases licuados a presión también pueden almacenarse en cavidades lixiviadas de depósitos salinos.

Las cavidades salinas lixiviadas se crean perforando un pozo en la formación salina, haciendo circular agua dulce o de baja salinidad por el pozo y, finalmente, retirando la salmuera de la cavidad. La sal de la formación se disuelve y amplía el pozo perforado hasta que se alcanza el volumen deseado.

En las cavidades salinas lixiviadas los líquidos y gases licuados se almacenan sobre una solución de salmuera. Durante el llenado, el hidrocarburo se bombea en la parte superior de la cavidad y desplaza a la salmuera. Tras pasar por un proceso de decantación o de desgasificación, la salmuera se almacena en un estanque o balsa con revestimiento (véase el apartado 3.1.14). El hidrocarburo se almacena a presión a una cierta profundidad a causa del peso estático de la salmuera y del propio hidrocarburo. El hidrocarburo se acostumbra a extraer mediante desplazamiento de la salmuera; sin embargo, en cavidades salinas poco profundas se puede conseguir con bombas sumergidas.

La sal es intrínsecamente impermeable y física y químicamente inerte a los hidrocarburos. Además, las grietas y fallas en la sal se tapan gracias al comportamiento viscoplástico de la sal bajo presión geostática. Ello garantiza que no se produzcan emisiones al suelo.

Las profundidades habituales de las cavidades salinas lixiviadas son de 300 m a 1200 m. Las dimensiones varían en función de la ubicación, pero en la instalación Geosel de Francia, por ejemplo, los volúmenes habituales se hallan entre 90 000 y 450 000 m³, con una capacidad total de aproximadamente 6 millones de metros cúbicos (26 cavidades de almacenamiento para petróleo crudo, gasoil, gasolina, nafta, etc.).

Los estanques o balsas utilizados para almacenar la salmuera necesaria para la extracción del hidrocarburo suelen diseñarse de modo que se adapten al paisaje.

B. Equipo relevante y otras consideraciones

[150, Geostock, 2002]

Las cavidades salinas lixiviadas están conectadas con la superficie mediante cadenas de tuberías concéntricas (parecidas a las usadas en las perforaciones de petróleo y gas natural) para introducir y extraer el hidrocarburo. En la superficie, la cabeza del pozo, equipada con válvulas, ocupa un espacio muy limitado y todas las conducciones asociadas son subterráneas.

Las instalaciones de bombeo, equipos de medición y otras instalaciones de apoyo como edificios de control y sistemas de protección contra incendios, se hallan centralizadas en una única área, lo que garantiza una ocupación mínima del suelo y un menor impacto ambiental.

C. Posibles fuentes de emisión (cavidades salinas lixiviadas)

La Tabla 3.44 y la Tabla 3.45 muestran las puntuaciones de emisión para las fuentes potenciales de emisión en cavidades salinas lixiviadas. La Figura 3.2 explica la metodología de cálculo de la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se consideran en el capítulo 4.

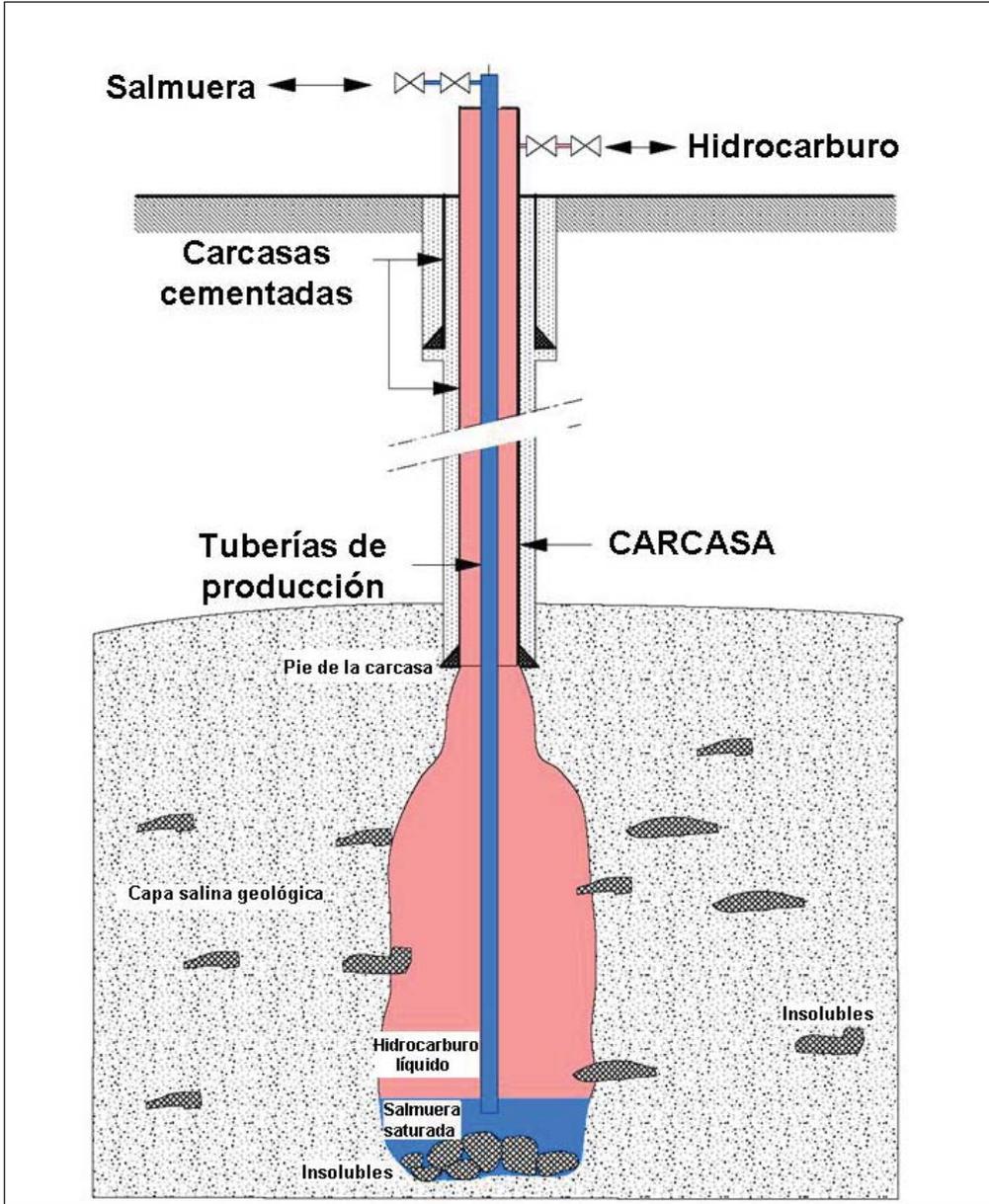


Figura 3.25: Ejemplo de una cavidad salina lixiviada en funcionamiento [175, TWG, 2003]

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para cada modo de almacenamiento por sí solo.

Tabla 3.44: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en cavidades salinas lixiviadas . [150, Geostock, 2002]

Fuente potencial de emisiones a la atmósfera	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Llenado	2	1	2
Respiración			n. a.
Vaciado	2	1	2
Limpieza			n. a.
Inertización			n. a.
Medición manual			n. a.
Muestreo			n. a.
Emisiones fugitivas	2	1	2
Drenaje			n. a.

Tabla 3.45: Posibles emisiones al agua o residuos de fuentes operativas en cavidades salinas lixiviadas [150, Geostock, 2002]

Fuente potencial de emisiones líquidas al agua o residuos	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Drenaje			n. a.
Limpieza			n. a.
Muestreo			n. a.

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

3.1.18. Almacenamiento flotante

A. Descripción

[113, TETSP, 2001]

A veces se usan barcos para proporcionar una capacidad de almacenaje adicional y temporal en una terminal marítima. Hay que tener en cuenta que este modo de almacenamiento no incluye los tanques de los barcos que cargan y descargan en una terminal.

Las conducciones de suministro y de vaciado de la instalación de almacenamiento flotante están permanentemente conectadas a los sistemas de transporte del producto en tierra. Las conducciones debe disponer de secciones flexibles para soportar el movimiento de las olas y las mareas. Debe considerarse cuidadosamente la contención de derrames o fugas de líquido al agua. Como los barcos son antiguas embarcaciones comerciales, se habrán construido según las normas de la

Organización Marítima Internacional en el momento en que se colocó la quilla. Las embarcaciones deben seguir cumpliendo estas normas si navegan hasta astilleros para su inspección, mantenimiento del casco, etc.

B. Equipo relevante y otras consideraciones

Tabla 3.46: Referencias cruzadas para el almacenamiento flotante

		Sección
3.1.12.7 Equipos para tanques	Orificios de venteo	3.1.12.7.1
	Trampillas de medición y muestreo	3.1.12.7.2
	Pozos fijos y guías	3.1.12.7.3
	Instrumentación	3.1.12.7.4
	Trampillas de acceso	3.1.12.7.5
	Desagües	3.1.12.7.6
	Mezcladores	3.1.12.7.7
	Sistemas de calentamiento	3.1.12.7.8
	Elementos de estanqueidad	3.1.12.7.9
	Válvulas	3.2.2.6
3.1.12 Consideraciones asociadas a los tanques		

C. Posibles fuentes de emisión (almacenamiento flotante)

La Tabla 3.47 y la Tabla 3.48 muestran las puntuaciones de emisión para las fuentes potenciales de emisión en almacenamiento flotante. La Figura 3.2 explica la metodología de cálculo de la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se consideran en el capítulo 4.

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para cada modo de almacenamiento por sí solo.

Tabla 3.47: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en almacenamiento flotante [113, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones a la atmósfera	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Llenado	2	3	6
Respiración	3	2	6
Vaciado	2	1	2
Limpieza	1	2	2
Inertización	3	2	6
Medición manual	2	1	2
Muestreo	2	1	2
Emisiones fugitivas	3	1	3
Drenaje	2	1	2

Tabla 3.48: Posibles emisiones al agua o residuos de fuentes operativas en almacenamiento flotante [113, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones líquidas al agua o residuos	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Drenaje	2	0	0
Limpieza	1	3	3
Muestreo	2	0	0

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

3.2. Transporte y manipulación de líquidos y gases licuados

Los sistemas de transporte hacen referencia a las tuberías, con todas las válvulas y empalmes, conectadas al tanque de almacenamiento y la manguera flexible o brazo de carga para la conexión con camiones cisterna, vagones cisterna ferroviarios y embarcaciones. Las técnicas de manipulación hacen referencia a los medios para desplazar el producto (como bombas) a través de las conducciones y para introducirlo en los tanques y extraerlo de los mismos.

Se consideran los siguientes sistemas de transporte, técnicas de manipulación y aspectos asociados:

Tabla 3.49: Referencias cruzadas de transporte y manipulación de líquidos y gases licuados

Modos de transporte	Sección
Transporte por tuberías de superficie cerradas	3.2.1.1
Transporte por tuberías de superficie abiertas	3.2.1.2
Transporte por tuberías subterráneas cerradas	3.2.1.3
Carga y descarga de dispositivos de transporte	3.2.1.4
Técnicas de manipulación	Sección
Flujo por gravedad	3.2.2.1
Bombas	3.2.2.2
Compresores	3.2.2.3
Gases inertes	3.2.2.4
Bridas y juntas	3.2.2.5
Válvulas y empalmes	3.2.2.6
Consideraciones asociadas al transporte y la manipulación	3.2.3
Equipos y accesorios	3.2.4
Transporte y manipulación de productos envasados	3.2.5

El diagrama de flujo de la Figura 3.26 identifica las posibles emisiones gaseosas y líquidas, así como los residuos, que pueden producirse a partir del transporte y manipulación de materiales líquidos y gases licuados. El caso básico para cualquiera de los modos de transporte y manipulación presupone que no se han instalado medidas de control de las emisiones. Para cada categoría de transporte se listan las actividades operativas relevantes y los posibles sucesos o incidentes que podrían provocar una emisión. Todo ello constituye la base para describir las posibles emisiones por actividades de transporte y manipulación.

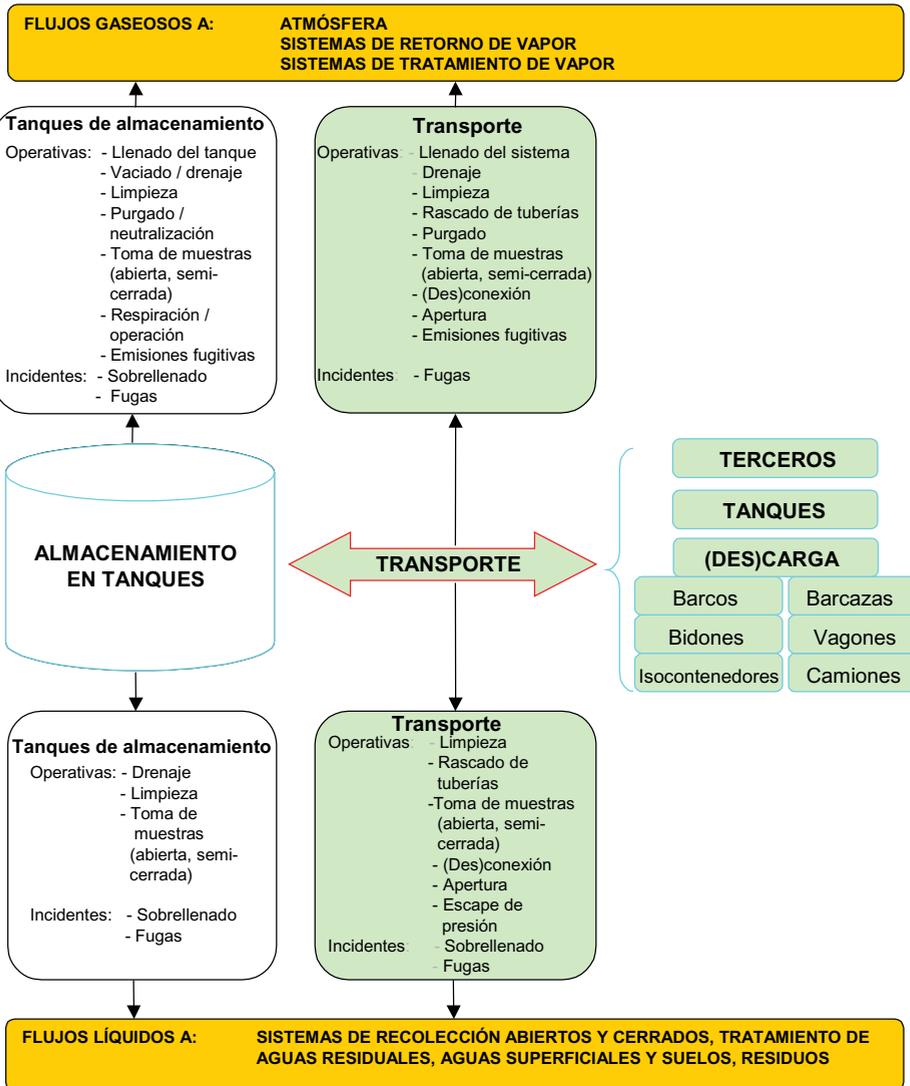


Figura 3.26: Diagrama de flujo de las posibles emisiones provocadas por las instalaciones de transporte y manipulación

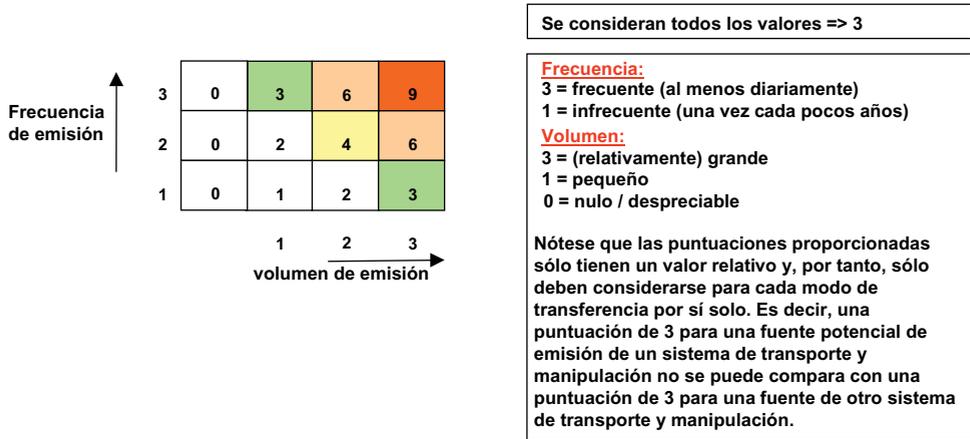


Figura 3.27: Matriz de riesgos para las emisiones procedentes del transporte y manipulación de líquidos y gases licuados

Observaciones:
<ol style="list-style-type: none"> 1. La clasificación como n. a. (no aplicable) indica que no se considerará la fuente particular de emisión (no aplicable o no relevante, etc.) debido a la naturaleza específica del modo de almacenamiento descrito.
<ol style="list-style-type: none"> 2. Se realizará una clara distinción entre emisiones de «fuentes operativas» y las emisiones de «incidentes».
<ol style="list-style-type: none"> 3. Las puntuaciones de emisión (de las fuentes operativas) se calculan multiplicando la frecuencia de emisión por el volumen de emisión. Esta metodología se aplica habitualmente en aproximaciones de evaluación de riesgos, como la que se usa en las inspecciones basadas en riesgos (tal como se explicará en mayor detalle en este BREF). Se consideran todas las puntuaciones por encima de 3: p. ej. todas las fuentes de emisión con frecuencias elevadas (puntuación = 3), volúmenes grandes (puntuación = 3) y frecuencia media y volumen medio (en que frecuencia y volumen puntúan 2).

Las posibles fuentes de emisión de las operaciones de transporte y manipulación de líquidos y gases licuados se seleccionan para su posterior análisis mediante un enfoque de matriz de riesgos, tal como se describe en la Figura 3.27.

3.2.1. Transporte del producto

3.2.1.1. SISTEMAS DE TRANSPORTE POR TUBERÍAS DE SUPERFICIE CERRADAS
[113, TETSP, 2001]

A. Descripción

Los sistemas de transporte por tuberías de superficie cerradas suelen estar diseñados para el transporte de líquidos, gases refrigerados (licuados), gases presurizados (como líquidos) o gases en estado gaseoso. El diseño varía en función del servicio previsto y de los productos a transportar. Los sistemas de tuberías de superficie son la forma más habitual de sistema de manipulación en instalaciones de almacenamiento.

Normalmente, los sistemas de transporte por tuberías para aplicaciones de almacenamiento están diseñados para presiones de trabajo de bajas a moderadas, excepto si circunstancias específicas indican lo contrario.

El diseño, construcción, funcionamiento y mantenimiento de las tuberías suele cumplir con las normas y directivas aceptadas internacionalmente (p. ej. ASME, API, DIN, NEN, etc.).

Normalmente, los sistemas de tuberías están formados por tuberías, válvulas (de bolas, de compuerta, de aguja, de mariposa, etc.) y empalmes (p. ej. conexiones para la instrumentación) y estaciones de bombeo. Las emisiones sólo se producen, en general, a causa de fugas en los elementos de estanqueidad o en las operaciones de limpieza y purgado.

B. Equipo de transporte relevante: véase el apartado 3.2.4.

C. Posibles fuentes de emisión (sistema de transporte por tuberías de superficie cerradas)

La Tabla 3.50 y la Tabla 3.51 muestran las puntuaciones de emisión para las fuentes potenciales de emisión en un sistema de tuberías de superficie cerradas. La Figura 3.27 explica la metodología de cálculo de la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se consideran en el capítulo 4.

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para los modos de transporte.

Tabla 3.50: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en sistemas de transporte por tuberías de superficie cerradas [113, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones a la atmósfera	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Llenado	2	2	4
Limpieza	1	2	2
Rascado de tuberías	2	1	2
Purga	1	2	2
Muestreo	2	1	2
(Des)conexión	2	1	2
Apertura	1	2	2
Emisiones fugitivas	3	1	3
Vaciado / drenaje	2	1	2

Tabla 3.51: Posibles emisiones de líquidos al suelo y aguas superficiales de fuentes operativas en sistemas de transporte por tuberías de superficie cerradas [113, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones líquidas	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Drenaje	2	1	2
Limpieza	1	2	2
Muestreo	2	1	2
Rascado de tuberías	2	1	2
(Des)conexión	2	1	2
Alivio de presión	2	1	2
Apertura	2	1	2

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

3.2.1.2. SISTEMAS DE TRANSPORTE POR TUBERÍAS DE SUPERFICIE ABIERTAS

A. Descripción

[113, TETSP, 2001]

Los sistemas de transporte por tuberías de superficie abiertas son sistemas (atmosféricos) diseñados para recoger agua de lluvia o derrames y evitar que contaminen el subsuelo o las aguas superficiales. Los sistemas abiertos sólo son adecuados para productos poco volátiles no peligrosos. Se usan, por ejemplo, para recoger escorrentías de instalaciones con diques. Algunos ejemplos habituales son:

- canalones o colectores,
- desagües abiertos,
- cubetas de goteo alrededor de bombas.

Los sistemas acostumbran a permitir un drenaje por gravedad hasta un pozo central de recolección, desde el que se bombean los líquidos hacia un sistema de tuberías subterráneo o de superficie o hacia un recipiente móvil.

B. Equipo de transporte relevante: no relevante.

C. Posibles fuentes de emisión (tuberías abiertas)

La Tabla 3.52 y la Tabla 3.53 muestran las puntuaciones de emisión para las fuentes potenciales de emisión en un sistema de tuberías de superficie abiertas. La Figura 3.27 explica la metodología de cálculo de la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se consideran en el capítulo 4.

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para los modos de transporte.

Tabla 3.52: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en sistemas de transporte por tuberías de superficie abiertas [113, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones a la atmósfera	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Llenado	2	3	6
Limpieza	2	2	4
Rascado de tuberías			n. a.
Purga			n. a.
Muestreo			n. a.
(Des)conexión			n. a.
Apertura			n. a.
Emisiones fugitivas			n. a.
Vaciado / drenaje			n. a.

Tabla 3.53: Posibles emisiones de líquidos al suelo y aguas superficiales de fuentes operativas en sistemas de transporte por tuberías de superficie abiertas [113, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones líquidas	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Drenaje	2	1	2
Limpieza	2	2	4
Muestreo	2	1	2
Rascado de tuberías			n. a.
(Des)conexión			n. a.
Alivio de presión			n. a.
Apertura			n. a.

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

3.2.1.3. SISTEMAS DE TRANSPORTE POR TUBERÍAS SUBTERRÁNEAS

A. Descripción

[113, TETSP, 2001, 156, ECSA, 2000]

Los sistemas de tuberías subterráneas acostumbran a estar diseñados para transportar líquidos, gases refrigerados (licuados), gases presurizados (como líquidos) o gases en estado gaseoso bajo tierra (para atravesar carreteras o largas secciones a través de conducciones de tuberías específicas). El diseño varía en función del servicio previsto y de los productos a transportar; por ejemplo, los sistemas de tuberías subterráneas raramente se usan para transportar disolventes clorados y, si se usan, se construyen como un sistema de tuberías con encamisado y un sistema de alarma de fugas hacia el exterior.

Normalmente, los sistemas de transporte por tuberías para aplicaciones de almacenamiento están diseñados para presiones de trabajo de bajas a moderadas, excepto si circunstancias específicas indican lo contrario. El diseño, construcción, funcionamiento y mantenimiento de las tuberías suele cumplir con las normas y directivas aceptadas internacionalmente (p. ej. ASME, API, DIN, NEN, etc.).

Los sistemas de tuberías acostumbran a estar formados por tuberías totalmente soldadas y válvulas y empalmes (p. ej. conexiones para instrumentación) limitados. Las estaciones de bombeo suelen estar situadas en la superficie. Se pueden producir emisiones como resultado de fugas a través de los elementos de estanqueidad y en las operaciones de limpieza y purgado.

Las tuberías subterráneas pueden verse afectadas por corrosión externa a causa de un terreno salino y por la formación de celdas de corrosión en el suelo cercano o corrientes eléctricas parásitas.

B. Equipo de transporte relevante: véase el apartado 3.2.4.

C. Posibles fuentes de emisión (tuberías subterráneas)

La Tabla 3.54 y la Tabla 3.55 muestran las puntuaciones de emisión para las fuentes potenciales de emisión en un sistema de tuberías subterráneas. La Figura 3.27 explica la metodología de cálculo de la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se consideran en el capítulo 4.

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para los modos de transporte.

Tabla 3.54: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en sistemas de transporte por tuberías subterráneas [113, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones a la atmósfera	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Llenado	2	2	4
Limpieza	1	2	2
Rascado de tuberías	2	1	2
Purga	1	2	2
Muestreo	2	1	2
(Des)conexión	2	1	2
Apertura	1	2	2
Emisiones fugitivas	3	1	3
Vaciado / drenaje	2	1	2

Tabla 3.55: Posibles emisiones de líquidos al suelo y aguas superficiales de fuentes operativas en sistemas de transporte por tuberías subterráneas [113, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones líquidas	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Drenaje	2	1	2
Limpieza	1	2	2
Muestreo	2	1	2
Rascado de tuberías	2	1	2
(Des)conexión			n. a.
Alivio de presión	2	1	2
Apertura	1	1	1

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

3.2.1.4. CARGA Y DESCARGA DE UNIDADES DE TRANSPORTE

A. Descripción

[156, ECSA, 2000] [157, VDI, 2001] [184, TETSP, 2004]

Los camiones cisterna, vagones cisterna y embarcaciones se conectan al punto de carga o descarga mediante una manguera flexible o un brazo de carga. No pueden usarse tuberías rígidas.

Las mangueras flexibles suelen estar reforzadas con espirales de acero o una malla de acero, y el tipo de manguera debe ser el adecuado para el producto a manipular.

Los brazos de carga están equipados con juntas giratorias para permitir que la conexión se mueva en conjunción con la unidad de transporte. Las juntas giratorias están equipadas con juntas herméticas para evitar fugas. El material del brazo de carga, y especialmente, de las juntas herméticas, debe ser el adecuado para el producto a manipular.

En los casos en que es necesario recoger los vapores de la unidad de transporte durante la carga del líquido, los vapores desplazados deben recogerse con tuberías instaladas en las unidades de transporte o mediante brazos de carga modificados. El método de recolección depende de si la carga se realiza por la parte superior a través de una trampilla abierta o mediante una tubería fija sobre la cisterna. Durante la carga superior los vapores se pueden recoger usando brazos de carga especiales, que forman una unión estanca con la trampilla de carga e incluyen una tubería de recogida de vapores. En caso contrario, las cisternas necesitan válvulas de alivio de presión instaladas en cada tanque de producto (o compartimento), conectadas mediante tuberías de recolección de vapores situadas en la cisterna a un conector de vapor, que se encuentra a la altura de trabajo en camiones y vagones cisterna. Este conector de vapor se puede conectar a una manguera flexible o brazo en la instalación de carga, parecido al que se usa para la carga del producto.

Algunas embarcaciones, especialmente los barcos cisterna para productos químicos, están equipados con sistemas de tuberías para recolección de vapor con puntos de conexión que permiten su acoplamiento con las instalaciones en tierra, siempre que sea adecuado para las características de los productos a manipular. Sin embargo, los petroleros de propósito general que operan en aguas de la UE no disponen de sistemas de recolección de vapores (Informe de la AEAT, Rudd y Hill, *Measures to Reduce Emissions of VOCs during Loading and Unloading of Ships in the EU* [«Medidas para reducir las emisiones de COV durante la carga y descarga de embarcaciones en la UE»], agosto de 2001).

Véase la Figura 3.28, que muestra un ejemplo de sistema de descarga a granel.

B. Equipo de transporte relevante: no relevante.

C. Posibles fuentes de emisión (manguera flexible o brazo de carga)

La Tabla 3.56 y la Tabla 3.57 muestran las puntuaciones de emisión para las fuentes potenciales de emisión en tuberías y mangueras de descarga. La Figura 3.27 explica la metodología de cálculo de la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se consideran en el capítulo 4.

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para los modos de transporte.

Tabla 3.56: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas con mangueras flexibles o brazos de carga Fuente: EIPPCB

Fuente potencial de emisiones a la atmósfera	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Llenado	2	2	4
Limpieza	1	2	2
Rascado de tuberías	2	1	2
Purga	1	2	2
Muestreo	2	1	2
(Des)conexión	3	2	6
Apertura	1	2	2
Emisiones fugitivas	3	1	3
Vaciado / drenaje	2	1	2

Tabla 3.57: Posibles emisiones de líquidos al suelo o aguas superficiales de fuentes operativas con mangueras flexibles o brazos de carga Fuente: EIPPCB

Fuente potencial de emisiones líquidas	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Drenaje	2	1	2
Limpieza	1	2	2
Muestreo	2	1	2
Rascado de tuberías	2	1	2
(Des)conexión	3	1	3
Alivio de presión	2	1	2
Apertura	2	1	2

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

3.2.2. Manipulación del producto

[113, TETSP, 2001]

Se dispone de diversos métodos de manipulación y desplazamiento del producto, que se pueden clasificar por su uso de:

- gravedad,
- bombas,

- compresores,
- gas inerte.

Se consideran en los apartados del 3.2.2.1 al 3.2.2.4.

Otros tipos de equipos que se usan en la manipulación del producto son:

- bridas y juntas,
- válvulas y empalmes,
- elementos de sellado,
- orificios de venteo, desagües y puntos de muestreo,
- instrumentación,
- dispositivos de alivio de presión.

Se consideran en los apartados 3.2.2.5 y 3.2.2.6, así como en el 3.2.4.

Los aspectos económicos, de diseño y construcción y de puesta en marcha y desmantelamiento se discuten en el apartado 3.2.3.

3.2.2.1. FLUJO POR GRAVEDAD

A. Descripción

El flujo por gravedad sólo se puede aplicar en condiciones atmosféricas o entre recipientes a presión con un espacio de vapor común o que operan a la presión de saturación del vapor del líquido almacenado.

B. Equipo de manipulación relevante: véase el apartado 3.2.4.

C. Posibles fuentes de emisión (métodos de desplazamiento)

La Tabla 3.58 y la Tabla 3.59 muestran las puntuaciones de emisión para las fuentes potenciales de emisión en manipulación del producto en general. La Figura 3.27 explica la metodología de cálculo de la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se consideran en el capítulo 4.

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para las técnicas de manipulación del producto.

Tabla 3.58: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en la manipulación del producto [113, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones a la atmósfera	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Llenado	2	0	0
Limpieza	1	0	0
Rascado de tuberías			n. a.
Purga			n. a.
Muestreo			n. a.
(Des)conexión			n. a.
Apertura	1	1	1
Emisiones fugitivas	3	1	3
Vaciado / drenaje	2	0	0

Tabla 3.59: Posibles emisiones de líquidos al suelo o aguas superficiales de fuentes operativas en la manipulación del producto [113, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones líquidas	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Drenaje	2	1	2
Limpieza	1	1	1
Muestreo			n. a.
Rascado de tuberías			n. a.
(Des)conexión			n. a.
Alivio de presión			n. a.
Apertura	1	1	1

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

3.2.2.2. BOMBAS

A. Descripción

[157, VDI, 2001] [156, ECSA, 2000]

Se usan bombas para desplazar todo tipo de productos en condiciones atmosféricas, presurizadas o refrigeradas. En general, se usan dos tipos de bombas: las bombas de desplazamiento positivo y las bombas centrífugas.

Las bombas de desplazamiento positivo están formadas por bombas alternativas (de pistón o de diafragma) o bombas rotatorias. Se acostumbran a usar como bombas de dosificación para obtener caudales pequeños y precisos.

Las bombas necesitan, en general, elementos de estanqueidad o sellado; véase el apartado 3.2.4.1. Algunas bombas centrífugas y de desplazamiento positivo rotatorias que no necesitan árbol de juntas para el eje son:

- bombas centrífugas de arrastre magnético,
- bombas centrífugas encamisadas,
- bombas de diafragma,
- bombas peristálticas.

Para manipular productos derivados del petróleo se acostumbran a usar bombas centrífugas, aunque en casos especiales pueden usarse bombas de desplazamiento. Las bombas centrífugas con transmisión magnética suelen usarse para manipular disolventes clorados.

B. Equipo de manipulación relevante: véase el apartado 3.2.4.

C. Posibles fuentes de emisión (manipulación del producto)

La Tabla 3.58 y la Tabla 3.59 muestran las puntuaciones de emisión para las fuentes potenciales de emisión en manipulación del producto en general. La Figura 3.27 explica la metodología de cálculo de la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se consideran en el capítulo 4.

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para la técnicas de manipulación del producto.

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

3.2.2.3. COMPRESORES

A. Descripción

[156, ECSA, 2000]

Los compresores comparten muchas características similares con las bombas y se usan para desplazar gases o productos refrigerados. En este apartado se discutirán dos tipos de compresor rotodinámico. El primero es de baja velocidad, los compresores de desplazamiento positivo y, que funcionan habitualmente a velocidades sincronas de 50/60 ciclos. Se usan con muchos tipos de gases, pero especialmente en ciclos de refrigeración pequeños. La misma tecnología se aplica en algunos gases de proceso. Los montajes de los cojinetes del eje se hallan en cada extremo del mismo e instalados en el montaje de sellado. Las fugas se producen básicamente en el punto en que el eje penetra en la estructura.

El segundo tipo acostumbra a funcionar a velocidades muy superiores para conseguir un buen rendimiento y se trata de compresores centrífugos. Se usan habitualmente para gases de COV. Los montajes de los cojinetes del eje se hallan en cada extremo del mismo e instalados fuera del montaje de sellado. Las fugas se producen básicamente en el punto en que el eje penetra en la estructura en su terminal extremo motor y no motor.

B. Equipo de manipulación relevante: véase el apartado 3.2.4; las tecnologías de estanqueidad utilizadas se comentan en el apartado 3.2.4.1.

C. Posibles fuentes de emisión (manipulación del producto)

La Tabla 3.58 y la Tabla 3.59 muestran las puntuaciones de emisión para las fuentes potenciales de emisión en manipulación del producto en general. La Figura 3.27 explica la metodología de cálculo de la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se consideran en el capítulo 4.

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para la técnicas de manipulación del producto.

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

3.2.2.4. GASES INERTES

A. Descripción

Se pueden usar gases inertes para desplazar un producto, ya sea por cuestiones de calidad o de seguridad. Este sistema suele utilizarse sólo para pequeños volúmenes de producto.

B. Equipo de manipulación relevante: no relevante.

C. Posibles fuentes de emisión (manipulación del producto)

La Tabla 3.58 y la Tabla 3.59 muestran las puntuaciones de emisión para las fuentes potenciales de emisión en manipulación del producto en general. La Figura 3.27 explica la metodología de cálculo de la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se consideran en el capítulo 4.

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para las técnicas de manipulación del producto.

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

3.2.2.5. BRIDAS Y JUNTAS

A. Descripción

[156, ECSA, 2000]

Una junta se usa para crear y mantener una unión estanca estática entre dos bridas estacionarias, que pueden conectar una serie de conjuntos mecánicos en una planta, incluyendo el área de almacenamiento. Estas uniones estancas estáticas intentan proporcionar una barrera física completa para el fluido que contienen, bloqueando cualquier posible vía de fuga. Para ello, la brida debe poder ser lo bastante flexible como para llenar cualquier irregularidad en las superficies de unión a sellar, pero al mismo tiempo ser lo bastante resistente como para soportar la extrusión y la deformación bajo las condiciones de funcionamiento.

El elemento de sellado se ve afectado por la acción de las fuerzas sobre la superficie de la junta, que la comprimen y le permiten rellenar cualquier imperfección de la brida. La combinación de la presión de contacto entre la junta y las bridas y la densificación del material de la junta, evita la fuga de fluido del conjunto. Por ello, las juntas son básicas para un funcionamiento correcto de una amplia gama de equipos industriales y deben considerarse un elemento integral del diseño de toda la planta.

Históricamente el material escogido para las juntas «blandas» ha sido el material laminado de fibras de amianto comprimidas (FAC). Se consideraba fácil de usar y muy tolerante a los ataques, por lo que estaba considerado muy aconsejable. En consecuencia, este material se usaba para sellar prácticamente todas las aplicaciones habituales y, en general, proporcionaba un buen rendimiento. A lo largo de muchos años los fabricantes y usuarios consiguieron una amplia experiencia acerca del material.

Más recientemente, con la prohibición del uso de fibras de amianto, la industria de los elementos de estanqueidad o sellado ha desarrollado una nueva generación de sustitutos sin amianto. Estos materiales proporcionan un mejor rendimiento de estanqueidad, aunque son más específicos de la aplicación que los antiguos materiales de amianto. Además, la manipulación de estos nuevos materiales exige un mayor cuidado. En general, estos nuevos materiales tienen un rendimiento mejor que sus predecesores de amianto, pero son menos tolerantes; los usuarios deben ser más cuidadosos para seleccionar el material correcto para la tarea y la estanqueidad de la junta.

A lo largo de los años se han desarrollado tipos de juntas alternativos, especialmente para las tareas más exigentes. Entre ellos se encuentran las juntas «rígidas», de fabricación metálica o semi-metálica.

Las bridas individuales no suelen presentar fugas muy importantes, pero como en el transporte se usan muchas, pueden representar una contribución importante a las fugas totales.

B. Equipo de manipulación relevante: no relevante.

C. Posibles fuentes de emisión (manipulación del producto)

La Tabla 3.58 y la Tabla 3.59 muestran las puntuaciones de emisión para las fuentes potenciales de emisión en manipulación del producto en general. La Figura 3.27 explica la metodología de cálculo de la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se consideran en el capítulo 4.

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para las técnicas de manipulación del producto.

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

3.2.2.6. VÁLVULAS Y EMPALMES

A. Descripción

[149, ESA, 2004] [18, UBA, 1999]

Las pérdidas por fugas acostumbran a ser mayores en equipos dinámicos, respecto a equipos estáticos, y en equipos anticuados. Se considera que las válvulas son responsables de aproximadamente un 50 – 60 % de emisiones fugitivas en las industrias química y petroquímica. Además, la mayor parte de emisiones fugitivas procede de sólo una pequeña parte de las fuentes (p. ej. menos del 1 % de las válvulas en servicio de gas o vapor pueden representar más del 70 % de las emisiones fugitivas en una refinería).

Algunas válvulas tienen más probabilidad de fugas que otras, como las válvulas con vástagos de elevación (válvulas de compuerta, válvulas de globo) que es probable que presenten fugas más frecuentemente que las válvulas de tipo cuarto de vuelta, como las de bolas y las giratorias. Las válvulas que se operan frecuentemente, como las válvulas de control, pueden desgastarse rápidamente y desarrollar vías de emisión con rapidez. Sin embargo, las válvulas de control de baja fuga, más recientes, proporcionan un buen rendimiento en el control de las emisiones fugitivas.

Los tipos de válvulas son:

- válvulas de control,
- válvulas de aguja,
- válvulas de globo,
- válvulas de compuerta,
- válvulas giratorias,
- válvulas de bolas,
- válvulas de mariposa,
- válvulas de alivio / seguridad,
- válvulas de retención.

Las válvulas usadas habitualmente en los sistemas de tuberías son las de bolas, las de compuerta o las de mariposa. En circunstancias específicas se pueden usar otros tipos (como las válvulas de control o las de aguja). Las válvulas se pueden atornillar o empernar en el sistema de tuberías o, para tamaños menores, soldar o roscar.

Excepto en el caso de las válvulas de plástico y de hierro fundido, toda válvula cumple los requisitos mínimos del API 6D o equivalente. Una válvula no debe usarse en condiciones de funcionamiento que superen las especificaciones de presión y temperatura aplicables y debe tener una presión nominal máxima de funcionamiento para temperaturas que igualen o superen la temperatura de funcionamiento máxima, para evitar fallos.

Todas las válvulas excepto las de alivio y las de retención se activan a través de un vástago, que necesita una junta para aislar el producto contenido en la válvula de la atmósfera. Como una válvula de retención no tiene vástago no se considera como fuente de emisiones fugitivas.

Como se abren y cierran con frecuencia, las válvulas de control son más propensas a sufrir fugas que las válvulas de cierre. El uso de válvulas de control rotatorias en lugar de válvulas de control de vástago móvil puede ayudar a reducir las emisiones fugitivas. Sin embargo, no siempre es posible intercambiar estos dos tipos de válvulas. En la etapa de diseño, el uso de bombas de velocidad variable puede ofrecer una alternativa a las válvulas de control.

Las fugas procedentes de los vástagos de las válvulas pueden ser debidas al uso de material de empaquetado de baja calidad, una maquinación inadecuada del vástago o de la estructura, un montaje incorrecto de la válvula, el desgaste del empaquetado, una compresión insuficiente, corrosión, abrasión por el polvo, etc. Las válvulas de fuelle no presentan emisiones por los vástagos, ya que incorporan un fuelle metálico que crea una barrera entre el disco de la válvula y el cuerpo.

Se dispone de válvulas empaquetadas de alta calidad con emisiones fugitivas muy bajas. Para conseguir este bajo nivel de emisión, estas válvulas usan mejo-

res sistemas de empaquetado, se fabrican con tolerancias muy restrictivas y se ensamblan cuidadosamente.

Es práctica habitual que las válvulas (empalmes) sean de fácil acceso y operación y que sean adecuados para el propósito técnico en relación con las materias primas, la producción, las dimensiones, el control y las pruebas de calidad. Las estructuras de las válvulas están fabricadas con materiales resistentes. Las válvulas situadas por debajo del nivel de los líquidos pueden diseñarse, en casos especiales, de forma que sean «a prueba de incendios» para demorar su fallo en caso de incendio.

B. Equipo de manipulación relevante: no relevante.

C. Posibles fuentes de emisión (manipulación del producto)

La Tabla 3.58 y la Tabla 3.59 muestran las puntuaciones de emisión para las fuentes potenciales de emisión en manipulación del producto en general. La Figura 3.27 explica la metodología de cálculo de la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se consideran en el capítulo 4.

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para las técnicas de manipulación del producto.

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

3.2.3. Consideraciones relativas a los sistemas de transporte y manipulación

3.2.3.1. ASPECTOS ECONÓMICOS

[113, TETSP, 2001]

Los costes de diseño, construcción y operación de las técnicas de transporte y manipulación dependen en gran medida del tipo de sistema (cerrado o abierto, de superficie o subterráneo), de su tamaño, de características de diseño (como cimentación, revestimientos externos, medidas de protección ambiental y de seguridad, etc.), de los requisitos que establece el producto a transportar o manipular (acero inoxidable frente a acero dulce, tipo de elementos de estanqueidad, etc.), de las condiciones de funcionamiento, de las actividades necesarias de inspección y mantenimiento y, asociado a estas últimas, el tiempo de vida técnico previsto.

Por lo tanto, se recomienda centrarse en el coste total de propiedad (CTP) de un sistema de transporte o manipulación considerando los elementos que se muestran en el apartado 3.1.12.1.

3.2.3.2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Está más allá de los objetivos de este documento proporcionar un resumen exhaustivo de los requisitos de diseño y construcción, pero aún así, a continuación se describen algunos aspectos y consideraciones importantes.

Ventajas de un diseño correcto

La mayoría de medidas técnicas, que permiten la eliminación o reducción de las consecuencias de una situación anormal, se consideran en la etapa de diseño, cuando se tratan los riesgos de una pérdida de contención y se definen en consecuencia las medidas de seguridad. Básicamente, en esta fase se utilizan los mejores conocimientos industriales sobre la sustancia a transportar y manipular para seleccionar opciones técnicas adecuadas, basándose en un análisis de riesgos o en un análisis de costes y beneficios. Sin lugar a dudas, la opción más barata y mejor es definir e implementar medidas de seguridad en esta fase de diseño. Además, la eficiencia de las medidas de diseño debe mantenerse a lo largo del tiempo y ello sólo se puede garantizar si se realizan comprobaciones periódicas de los dispositivos de seguridad. Es necesario un sistema de gestión adecuado para tratar este aspecto.

Es una práctica habitual que el diseñador primero considere el grado de medidas operativas adecuadas que los operarios deben tener en cuenta. Debe mantenerse la eficiencia de estas medidas a lo largo del tiempo; para garantizarlo, debe implementarse un sistema de gestión que se ocupe, por ejemplo, de la formación periódica de los operarios, de la actualización de las instrucciones de funcionamiento, etc. La inspección ambiental se puede considerar en esta fase. También tiene un papel importante en la determinación de las fuentes de emisión, ya que garantiza que las emisiones se mantienen dentro de los límites autorizados e informa al operario en cuanto el rendimiento deja de ser aceptable.

La inspección mecánica tiene un papel clave en la prevención de incidentes. La definición de un plan de inspección se inicia en la fase de diseño con la selección de los componentes de la instalación, basándose en la experiencia (experiencia con la sustancia, experiencia con la pieza, experiencia de la sustancia en interacción con la pieza, experiencia con actividades de almacenamiento). Todo ello debe comprobarse cuidadosamente.

Códigos, normas y directrices

Se hace referencia a códigos, normas y directrices internacionales, de los cuales algunos ejemplos habituales son:

Tuberías, válvulas y empalmes

- ANSI/API 574 (1 de junio de 1998): prácticas de inspección para componentes de sistemas de tuberías.
- ASTM volumen 01.01 2000: libro de normas ASTM, volumen 01.01: productos de hierro y acero: acero - tuberías, conducciones y empalmes.
- ASTM A961-99 (10 de marzo de 1999): especificación estándar para requisitos comunes en bridas de acero, empalmes de hierro fundido, válvulas y piezas para aplicaciones con tuberías.
- ASME B31.5-1992 (1 de enero de 1992): tuberías de refrigeración.
- ASME B31.8-1995 (1 de diciembre de 1995): sistemas de tuberías, de distribución y de transmisión de gas.
- ASME B31.3-1999 (1 de enero de 1999): tuberías de procesos.
- NACE RP0190-95 (1 de marzo de 1990): práctica estándar recomendada - recubrimientos protectores externos para juntas, empalmes y válvulas en tuberías metálicas subterráneas o submarinas y sistemas de tuberías.
- NFPA 54: código nacional de gas combustible, edición de 1999.
- DIN EN 1092-1 (1 de noviembre de 1994): bridas y sus juntas - parte 1: bridas circulares para tuberías, válvulas, empalmes y accesorios [sólo en alemán].
- ISO 12092 (1 de octubre de 2000): empalmes, válvulas y otros componentes de sistemas de tuberías de cloruro de polivinilo no plastificado (PVC-U), cloruro de polivinilo clorado (PVC-C), acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) y acrilonitrilo-estireno-acriléster (ASA) para tuberías a presión - resistencia a la presión interna.
- BS EN 558-1 1996: válvulas industriales - dimensiones cara a cara y centro a cara de válvulas metálicas usadas en sistemas de tuberías embridadas - parte 1: válvulas con designación PN.
- EEMUA 153/96: suplemento EEMUA a la ASME B31.3: edición de 1996, tuberías de proceso (y correcciones n.º 1, mayo de 1997, y n.º 2, marzo de 1998).
- EEMUA 196: guía de clientes de válvulas para la Directiva europea de equipos a presión - 1999.
- NEN 1091: 1994 NL: requisitos de seguridad para tuberías de acero de transporte de gas que operan a presiones de diseño superiores a 1 bar hasta un máximo de 16 bar.
- NEN 3650: 1998 EN: requisitos para sistemas de transporte por tuberías de acero; NEN-EN 10208-1: 1997 EN: tuberías de acero para conducciones de fluidos combustibles - condiciones técnicas de entrega - parte 1: tuberías de clase de exigencia A.
- NEN-EN 10208-2: 1996/C1: 1997 EN: tuberías de acero para líneas de conducción de fluidos combustibles - condiciones técnicas de entrega - parte 2: tuberías de clase de exigencia B.

Bombas

- ASME PTC8.2-1990: bombas centrífugas.
- BS EN 25199 1992: especificaciones técnicas para bombas centrífugas, clas II.
- EEMUA 164: bombas centrífugas no estancas; fecha: 1993.
- NEN-EN-ISO 5199: 1999 ONTW: especificaciones técnicas para bombas centrífugas, clase II.
- API 676 corrección 1, 15 de junio de 1999: bombas de desplazamiento positivo – rotatorias.
- HI S112 1994: pruebas para bombas rotatorias - ANSI/HI 3.6.
- NFPA 20 1999: norma para la instalación de bombas contra incendios estacionarias, 1999.

3.2.3.3. PUESTA EN MARCHA Y DESMANTELAMIENTO [113, TETSP, 2001]

Los siguientes apartados se aplican, generalmente, a sistemas de tuberías cerradas. Los sistemas abiertos no suelen comprobarse para la presencia de fugas, pero parte de estos sistemas (p. ej. las bombas y la conexión con un sistema de tuberías cerrado) acostumbran a comprobarse para requisitos funcionales y fugas.

Puesta a punto

Es básico que se comprueben las tuberías bajo presión tras las tareas de construcción, para demostrar la integridad mecánica de las juntas soldadas y para garantizar la estanqueidad ante fugas antes de la puesta en marcha. La prueba es una prueba de fuga hidrostática, de acuerdo con el código de diseño escogido. Por ejemplo, a veces, cuando una prueba de fuga hidrostática podría dañar el revestimiento o el aislamiento interno o bien podría contaminar un proceso, se realiza una prueba neumática de acuerdo con el código de diseño escogido.

Limpieza

Antes de que una tubería pueda considerarse lista para el servicio, debe limpiarse internamente. La limpieza puede realizarse mediante un lavado con agua o pasando rascadores a través de secciones ya completadas de la tubería. Esto puede formar parte del procedimiento de prueba. El secado de la tubería puede resultar adecuado según el producto a transportar tras la puesta en marcha.

Puesta en marcha

La puesta en marcha hace referencia a las tareas necesarias para poner en funcionamiento un sistema de tuberías tras completar su construcción. Normalmente se elabora un documento con el procedimiento de puesta en marcha, que establece de forma sistemática las operaciones a realizar en la puesta en marcha.

Cuando se ha realizado una prueba hidrostática completa en una tubería, en la que se han retirado diversos accesorios, o se han radiografiado juntas pero aún no se han comprobado, se aplica una prueba de fugas en servicio de todas las conexiones y empalmes mediante una prueba de jabón para fugas.

3.2.4. Equipamiento y accesorios

[113, TETSP, 2001, 152, TETSP, 2002]

La principal fuente potencial de emisiones en los sistemas de transporte y manipulación son las «emisiones fugitivas». Éstas se definen en este documento como fugas de gases procedentes de los elementos de estanqueidad o sellado y de las empaquetaduras y de las bridas y conexiones que, en condiciones normales deberían ser estancas. Estas emisiones dependen de la presión en el interior del sistema. Con la excepción del almacenamiento a presión, la presión en los sistemas de transporte y manipulación es relativamente baja comparada con la presión de las tuberías en una planta de procesamiento. Por tanto, las emisiones fugitivas en los sistemas de transporte y manipulación en tanques de almacenamiento atmosférico son significativamente menores que las fugas en los equipos de plantas de procesamiento.

Es importante que cada componente de una tubería sea capaz de resistir las presiones de diseño y otras cargas previstas, para evitar incidentes y accidentes.

3.2.4.1. ELEMENTOS DE SELLADO

[149, ESA, 2004], [157, VDI, 2001]

Elementos de sellado para bombas

Los productos transportados pueden producir fugas en el punto de contacto entre el eje móvil de la bomba y la estructura estacionaria. Para aislar el interior de la bomba de la atmósfera, todas las bombas (excepto las de tipo no sellado) requieren una junta en el punto en que el eje penetra en la estructura. Las tecnologías de sellado usadas son:

- empaquetadura de prensaestopas,
- empaquetadura de prensaestopas con una barrera corrida,
- juntas mecánicas simples,
- juntas mecánicas simples con un elemento de estanqueidad de contención mecánica y recolección de fugas (juntas duales no presurizadas),
- juntas dobles con un fluido de contención independiente (juntas duales presurizadas),
- sistemas de accionamiento no sellados.

Los elementos de sellado usados con mayor frecuencia son los empaquetados y los mecánicos. En los empaquetados es necesaria la lubricación para evitar la acumulación de calor por fricción. Si el líquido a bombear es el que proporciona esta lubricación, se pueden producir emisiones si se degrada la superficie del eje o la empaquetadura. Los elementos de estanqueidad mecánicos pueden ser simples o dobles, que también necesitan lubricación, aunque en menor cantidad que los elementos de estanqueidad empaquetados.

Las juntas mecánicas dobles se pueden disponer de forma consecutiva, en tándem o enfrentada. Las dos juntas forman una cavidad cerrada a través de la cual circula un fluido de contención. Como este fluido rodea a la junta doble y lubrica ambas caras del mismo, las características de vida útil de un elemento doble son mucho mejores que las de una junta simple. En función de la disposición de la junta, el fluido de contención puede hallarse a una presión superior o inferior a la del producto. Si es superior, se pueden producir fugas del fluido de contención hacia el producto que se está bombeando, lo que implica que el fluido de contención debe ser compatible tanto con el producto como con el ambiente. Si el fluido de contención se halla a presión inferior a la del producto, éste se puede mezclar con el primero, lo que implica que puede ser necesario el tratamiento de las posibles emisiones procedentes del depósito de fluido de contención, como, por ejemplo, a través de un sistema de tratamiento de gases.

En la Tabla 3.60 se muestran las emisiones promedio procedentes de elementos de sellado en bombas en funcionamiento normal cuando se utilizan aceites minerales.

Tabla 3.60: Emisiones promedio procedentes de elementos de estanqueidad en bombas de procesamiento en la manipulación de aceites minerales [157, VDI, 2001] [149, ESA, 2004]

Sistema de estanqueidad	Emisiones promedio a la atmósfera en funcionamiento normal	Observaciones
Junta mecánica simple mejorada	Promedio: 1 g/h por elemento (1) Intervalo: 0,42 – 1,67 g/h (2)	Diámetro de eje = 50 mm p = 10 bar n = 3000 min ⁻¹
Juntas duales no presurizadas y recolección de fugas	Cercanas a cero (1) Por debajo de 0,01 g/h y 10 ppm (2)	
Juntas duales presurizadas	Sin emisiones (técnicamente cerradas) (1) No medible (2) < 0,5 g/día (2)	Barrera de nitrógeno
Bombas de no sellado	Sin emisiones (técnicamente cerradas) (1, 2)	

Nota: (1): [157, VDI, 2001] (2): [149, ESA, 2004]

Elementos de sellado para compresores

Las tecnologías de estanqueidad usadas en compresores de baja velocidad son:

- juntas mecánicas simples,
- juntas mecánicas simples con un elemento de contención activado,
- juntas mecánicas simples con un elemento de contención mecánico y recolección de fugas (juntas duales no presurizados),
- juntas dobles con un fluido de contención independiente (juntas duales presurizados).

Los compresores de desplazamiento positivo de baja velocidad suelen sellarse mediante una junta mecánica con contención lubricada por aceite y sus fugas son bajas; los sistemas con contención se usan en muchos servicios y el aceite se separa y se recicla.

Los compresores de proceso centrífugos acostumbran a funcionar a velocidades muy superiores. Las tecnologías de estanqueidad usadas son:

- sellado laberíntico,
- juntas mecánicas simples,
- juntas mecánicas simples con un elemento de contención mecánico y recolección de fugas (juntas duales no presurizados),
- juntas mecánicas con un elemento de contención mecánico y recolección de fugas (juntas triples),
- juntas dobles con un fluido de contención independiente (juntas duales presurizadas).

Los compresores centrífugos suelen sellarse mediante sellado laberíntico (casquillos de carbono fijos o flotantes) o juntas mecánicas lubricadas con aceite para compresores de desplazamiento positivo. El sellado laberíntico presenta grandes fugas y acostumbra a intercambiarse por montajes de juntas mecánicas, como las juntas simples lubricadas por gas con elemento de contención externo. Ello ha permitido mejorar la fiabilidad y la gestión de las fugas en las juntas primarias para reconducirlas a una llama o a un sistema de recuperación.

En ambos tipos de maquinaria se usan diversas purgas de gas suministradas externamente. Para reducir las emisiones es indispensable un control y mantenimiento regular.

3.2.4.2. ORIFICIOS DE VENDEO, DESAGÜES Y PUNTOS DE MUESTREO [113, TETSP, 2001]

En general, todas las líneas están equipadas con orificios de venteo en las zonas elevadas y con desagües en las zonas bajas. Los orificios y desagües que deben

abrirse mientras la línea esta en funcionamiento (p. ej. conexiones para toma de muestras) suelen ir equipadas con válvulas y se muestran en el diagrama de tuberías y de instrumentación. Las orificios y desagües en sistemas a alta presión (superior a 40 bar) o con gases licuados de petróleo acostumbran a estar equipadas con un bloque doble y válvulas de purga. El resultado de la purga se puede enviar a una orificio de venteo elevado o a un sistema de eliminación seguro.

Todas las válvulas de orificios y desagües temporales en las tuberías que transportan materiales peligrosos, usadas para pruebas de presión, se retiran antes de la puesta en marcha del sistema. Todos los bloques dobles o tapas de válvulas simples deben cerrarse herméticamente y ser 100 % estancos con una soldadura adecuada para evitar fugas.

3.2.4.3. INSTRUMENTACIÓN EN SISTEMAS DE TUBERÍAS

La instrumentación en sistemas de tuberías suele limitarse a dispositivos para la medición de presión y temperatura. Normalmente se instala entre conexiones embridadas o en una conexión en derivación respecto a la tubería principal.

3.2.4.4. DISPOSITIVOS DE ESCAPE DE PRESIÓN

Los dispositivos de escape de presión suelen instalarse en las líneas, en compresores o en estaciones de bombeo para aliviar presiones inusuales y en situaciones de emergencia. Si se calienta una tubería cerrada que contiene líquido, la presión en su interior puede superar la presión de trabajo máxima permitida. Los sistemas y dispositivos y las válvulas de escape están diseñados, en general, de acuerdo con API 520 (parte 1 y 2), API 521 y API 526 respectivamente (o documentos equivalentes).

3.2.5. Transporte y manipulación de productos envasados

A. Descripción

[18, UBA, 1999] [156, ECSA, 2000]

El medio de transporte para la carga y descarga de sustancias peligrosas envasadas, p, ej. un apilador, debe diseñarse para adaptarse a las características de las sustancias. Por ejemplo, si se cargan y descargan bidones que contienen líquidos muy inflamables, es necesario un diseño con prevención de explosiones.

Los apiladores pueden equiparse con motores diesel, aunque actualmente en la mayoría de instalaciones de almacenamiento se usan vehículos eléctricos. Los

conductores deben seleccionarse cuidadosamente y deben formarse para evitar accidentes.

Para dispensar líquidos, como disolventes clorados, por ejemplo, a veces se usan tanques portátiles sobre ruedas o un patín. Esta unidad suele disponer de su propia bomba permanente, usada sólo para transferir el disolvente, y una válvula de alivio adecuada. Normalmente también se instala una cubeta de goteo.

Los contenedores pequeños (de hasta unos 25 kg) se pueden vaciar fácilmente a mano. Para eliminar el contenido de bidones de 200 litros se puede usar la gravedad o bombas. En ningún caso debe vaciarse un bidón aplicando aire a presión, ya que podría explotar. Para evitar la contaminación del suelo, el bidón a vaciar puede colocarse sobre una cubeta de recogida, como una parrilla metálica situada sobre una cubeta de goteo o una cubeta de recogida de cemento de polímero prefabricado.

B. Equipo de manipulación y transporte relevante: no aplicable.

C. Posibles fuentes de emisión (transporte y manipulación de productos envasados)

La Tabla 3.61 y la Tabla 3.62 muestran las puntuaciones de emisión para las fuentes potenciales de emisión en el transporte y manipulación de productos envasados. La Figura 3.27 explica la metodología de cálculo de la puntuación. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se consideran en el capítulo 4.

Debe recordarse que las puntuaciones sólo tienen un valor relativo y, por tanto, sólo deben considerarse para productos envasados.

Tabla 3.61: Posibles emisiones a la atmósfera de fuentes operativas en el transporte y manipulación de productos envasados. [113, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones a la atmósfera	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Llenado			n. a.
Limpieza			n. a.
Rascado de tuberías			n. a.
Purga			n. a.
Muestreo			n. a.
(Des)conexión	1	1	1
Apertura	1	1	1
Emisiones fugitivas	1	1	1
Vaciado	1	1	1

Tabla 3.62: Posibles emisiones líquidas al suelo y a aguas superficiales de fuentes operativas en el transporte y manipulación de productos envasados. [113, TETSP, 2001]

Fuente potencial de emisiones líquidas	Frecuencia de emisión	Volumen de emisión	Puntuación de emisión
Drenaje			n. a.
Limpieza			n. a.
Muestreo			n. a.
Rascado de tuberías			n. a.
(Des)conexión	2	1	2
Alivio de presión			n. a.
Apertura	1	1	1
Vaciado	2	1	2

Además de las pérdidas operativas, también se pueden producir emisiones poco frecuentes a causa de incidentes y accidentes (graves), como un sobrellenado o fugas. Estas emisiones también se consideran en el capítulo 4.

3.3. Almacenamiento de sustancias sólidas

Los diversos modos de almacenamiento de productos sólidos se describen en las secciones que se muestran en la Tabla 3.63.

Tabla 3.63: Modos de almacenamiento para sólidos y referencia a los apartados en que se comentan.

Tipo de almacenamiento	Apartados
Almacenamiento al aire libre	Apartado 3.3.2
Sacos y bolsas a granel	Apartado 3.3.2
Silos y depósitos	Apartado 3.3.3
Sólidos peligrosos envasados	Apartado 3.3.4

3.3.1. Almacenamiento al aire libre

[17, UBA, 2001] [116, Associazione Italiana Commercio Chimico, 2001] [24, IFA/EFMA, 1992]

El almacenamiento en pilas en exteriores o en edificios se utiliza para grandes cantidades de materiales a granel. Su función es:

- servir de pila de reserva entre el lugar de extracción y la planta de procesamiento,

- servir como almacenamiento intermedio entre diferentes operaciones, que se realizan en momentos diferentes o que trabajan con diferentes cantidades de material,
- mezclar diferentes materiales a granel,
- homogeneizar el flujo de masa,
- servir de punto de transferencia entre sistemas transportadores continuos y discontinuos y viceversa.

El almacenamiento al aire libre es adecuado para materiales a granel, como carbón, yeso, minerales, chatarra y arena, ya que son materiales que no se ven afectados por las condiciones atmosféricas. La parte inferior del área de almacenaje puede sellarse para evitar que el material se ensucie; en la mayoría de casos se usa el cemento. Cuando se almacenan combustibles sólidos, la superficie de soporte acostumbra a ser hermética. Las instalaciones de almacenamiento de caliza (carbonato cálcico) en exteriores suelen disponer de un sistema de recogida del agua de lluvia.

Descripción: El almacenamiento al aire libre se puede usar como solución a largo plazo o a corto plazo y, en general, las pilas son de forma longitudinal o anulares. Según los requisitos de cada caso (p. ej. si deben almacenarse materiales diferentes en un mismo sitio), el almacenamiento se puede realizar entre uno o varios muros. Por ejemplo, los fertilizantes se acumulan entre tres muros, disposición llamada compartimento al aire libre, o bien en cobertizos específicos.

La Tabla 3.66 muestra diversas construcciones con su nombre correspondiente y la Figura 3.29 presenta diferentes formas de pilas, excepto la situación en que se forma una pila contra otra del mismo material o de uno diferente; por ejemplo una pila de yeso contra una de cenizas volantes.

La Tabla 3.64 proporciona los criterios para la selección de la forma de almacenamiento.

Tabla 3.64: Criterios de selección de formas de almacenamiento longitudinales o anulares [17, UBA, 2001]

Tipos de almacenamiento longitudinales	Tipos de almacenamiento anulares
• son adecuados para grandes capacidades (hasta millones de toneladas)	• son adecuados para capacidades de hasta 100 000 toneladas
• son adecuados cuando es posible que el almacenamiento se amplíe posteriormente	• son adecuados si no se planea ninguna ampliación o no se considera necesaria
• se prefieren en lugares alargados	• se prefieren en lugares cuadrados
• son adecuados cuando se forman pilas a largo plazo junto a pilas a corto plazo	

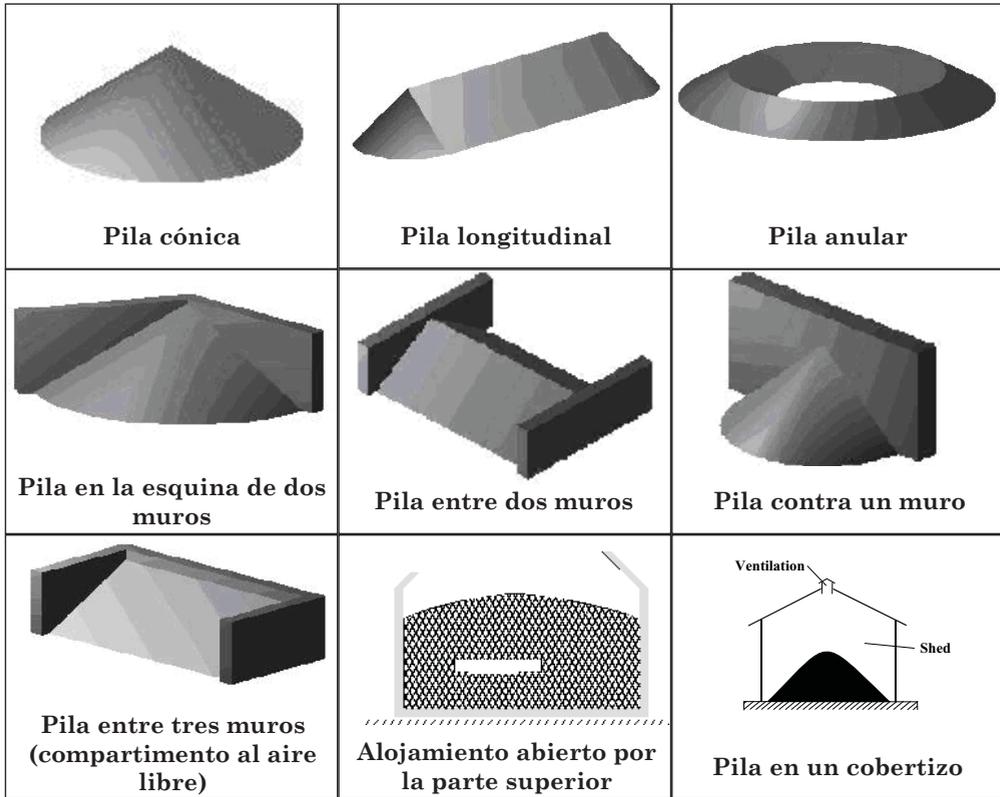


Figura 3.29: Diferentes formas de pilas [17, UBA, 2001, 91, Meyer and Eickelpasch, 1999]

3.3.2. Sacos y bolsas a granel

[17, UBA, 2001] [24, IFA/EFMA, 1992]

El almacenamiento en sacos y bolsas a granel no tiene relevancia alguna para las emisiones de polvo; sin embargo, los sacos y bolsas vacías que no se pueden reutilizar son un residuo a tener en cuenta. Se usan especialmente por cuestiones de calidad y en los casos en que se manipulan productos muy pulverulentos. En la mayoría de casos la apertura de los sacos y bolsas que contienen materiales pulverulentos se realiza en instalaciones especializadas con equipos adecuados de extracción en los cobertizos de producción. El tipo, tamaño y construcción de los sacos y bolsas depende de la frecuencia y el método de manipulación, de las condiciones climáticas y de los requisitos comerciales. En el caso de los fertilizantes es habitual usar bolsas de polietileno, ya que son resistentes al agua y al aceite.

3.3.3. Silos y depósitos

[17, UBA, 2001] [24, IFA/EFMA, 1992, 116, Associazione Italiana Commercio Chimico, 2001]

En algunos ámbitos industriales, los silos también se denominan depósitos, tolvas o búnquers. Normalmente los silos se usan para el almacenamiento de materiales secos y/o finamente granulados, como cemento o grano. Los depósitos suelen utilizarse para almacenar materiales formados por partículas mayores. La parte superior de los depósitos y los silos puede ser abierta o cerrada. Los abiertos son relevantes para las emisiones por erosión eólica, mientras que en los cerrados las emisiones sólo se producen durante la carga y la descarga.

Los silos pueden ser de cemento, metálicos o de plástico. La capacidad de los silos de cemento llega a las decenas de miles de toneladas, mientras que los metálicos y los de plástico tienen tamaños más moderados. En función del producto (como escoria o cemento), los silos están equipados con un filtro de mangas, a veces con manga de tela que pueden soportar temperaturas de hasta 150 – 160 °C. Por ejemplo, los fertilizantes se almacenan en silos de plástico cerrados o en depósitos abiertos.

3.3.4. Sólidos peligrosos envasados

En el apartado 3.1.13 se describen los diferentes tipos de contenedores y el almacenamiento de sustancias peligrosas envasadas para líquidos y gases licuados. Sin embargo, la discusión también es válida para el almacenamiento de sustancias sólidas peligrosas envasadas. En la práctica, los sólidos y los líquidos envasados suelen almacenarse conjuntamente en los almacenes; por lo tanto se presentan las referencias a los diferentes apartados del capítulo 3 que también son aplicables a los sólidos peligrosos envasados.

Apartado 3.1.13 Contenedores y almacenamiento de contenedores

Apartado 3.1.13.1 Celdas de almacenamiento

Apartado 3.1.13.2 Diseño y construcción

Apartado 3.1.13.3 Almacenamiento en exteriores (parques de almacenamiento).

3.4. Transporte y manipulación de sustancias sólidas

Las diferentes técnicas para el transporte y manipulación de sólidos se describen en los apartados que se indican en la Tabla 3.65.

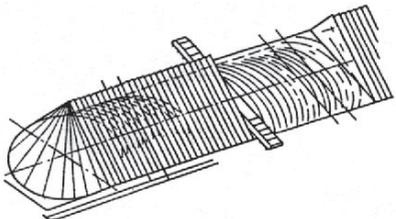
Tabla 3.65: Técnicas para el transporte y manipulación de sólidos, con referencia a los apartados en los que se comentan

Técnicas		Apartados
Construcción y regeneración de pilas		Apartado 3.4.1
Cucharas de almeja	Proceso por lotes	Apartado 3.4.2.2
Tolvas de descarga	Proceso por lotes	Apartado 3.4.2.3
Cubas	Proceso por lotes	Apartado 3.4.2.4
Cintas transportadoras por aspiración de aire	Proceso continuo	Apartado 3.4.2.5
Dispositivos de carga móviles	Proceso por lotes	Apartado 3.4.2.6
Vaciado de camiones y vagones	Proceso por lotes	Apartado 3.4.2.7
Pozos de descarga	Proceso por lotes	Apartado 3.4.2.8
Tuberías de llenado	Proceso continuo	Apartado 3.4.2.9
Conductos de llenado	Proceso continuo	Apartado 3.4.2.10
Tubos en cascada	Proceso continuo	Apartado 3.4.2.11
Rampas	Proceso continuo	Apartado 3.4.2.12
Cintas lanzadoras	Proceso continuo	Apartado 3.4.2.13
Cintas transportadoras	Proceso continuo	Apartado 3.4.2.14
Elevadores de cangilones	Proceso continuo	Apartado 3.4.2.15
Transportadores de cadena en cubeta	Proceso continuo	Apartado 3.4.2.16.1
Transportadores de rasquetas	Proceso continuo	Apartado 3.4.2.16.2
Tornillos sin fin	Proceso continuo	Apartado 3.4.2.17
Transportadores de aire a presión	Proceso continuo	Apartado 3.4.2.18
Alimentadores		Apartado 3.4.2.19

3.4.1. Construcción y regeneración de pilas

[17, UBA, 2001]

Existen diversas técnicas para construir y regenerar una pila.

Estructura de la pila	Técnica	Explicación
	Capas cónicas	Pilas de perfil cónico que se construyen o regeneran mediante una cinta transportadora móvil (pilas longitudinales) o rotatoria (pilas anulares).

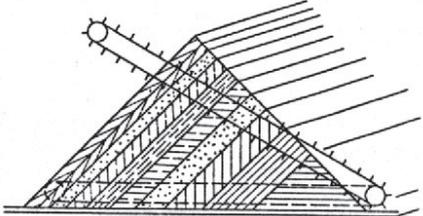
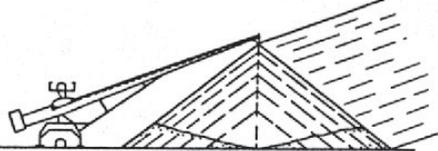
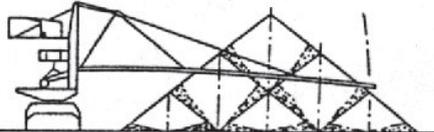
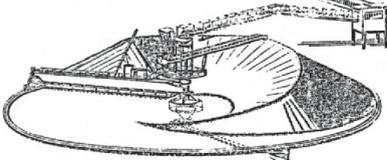
	<p>Estratos</p>	<p>Pilas construidas en capas en pendiente lateral con una cinta transportadora móvil que puede alzarse, bajarse, girarse o alargarse.</p>
	<p>Chevrón o cuña</p>	<p>Pilas con capas en pendiente colocadas como un tejado a dos vertientes y construidas mediante una cinta transportadora que puede alzarse y bajarse.</p>
	<p>Hileras</p>	<p>Pilas en filas que se construyen por capas (como en los chevrónes) con una cinta transportadora móvil que puede alzarse, bajarse, girarse o alargarse.</p>
	<p><i>Chevcon</i></p>	<p>Mezcla de capas cónicas y un chevrón (con capas en pendiente como un tejado de dos vertientes).</p>

Tabla 3.66: Técnicas habituales de construcción de pilas [17, UBA, 2001]

Las máquinas especialmente diseñadas para la construcción de pilas son volquetes, como camiones y vagones basculadores y, para la regeneración de pilas, dispositivos de carga posterior, como palas de puente-grúa, palas laterales y palas pórticas.

Los vehículos basculadores dejan caer el material a granel en la pila desde un costado. En función de los requisitos pertinentes, estos vehículos pueden disponer de una cinta basculante o una cinta transversal. Con el mismo principio básico, se puede llenar una pila directamente desde el vagón situado por encima de la misma.

Las cintas transportadoras de descarga son cintas transportadoras que lanzan el material a granel sobre la pila. En función del tipo de pila, estos sistemas se instalan en grúas o brazos móviles o en vigas de apoyo. Según el tipo de construcción escogido, la cinta de descarga puede ser giratoria o ajustable en altura y, si la situación lo requiere, extensible o transversal.

El sistema debe ser flexible en los casos en que se necesita una mezcla y homogeneización del material a granel (en las llamadas pilas de mezcla), además de proporcionar la función básica de almacenamiento.

3.4.2. Dispositivos de carga y descarga

[17, UBA, 2001]

El apartado 3.4.2.1 describe los aspectos generales acerca de las emisiones durante la carga y la descarga. Los apartados 3.4.2.2 a 3.4.2.13 describen las técnicas para la recogida y descarga de material. Los apartados 3.4.2.14 a 3.4.2.18 describen las técnicas de transporte. No es posible realizar una distinción clara entre las técnicas de recogida y descarga y las de transporte; en consecuencia, todas las técnicas se describen en este apartado 3.4.2. Los alimentadores se describen en el último apartado, el 3.4.2.19.

3.4.2.1. FUENTES DE EMISIÓN GENERALES EN EL TRANSPORTE Y LA MANIPULACIÓN

En principio, el transporte y la manipulación incluye tres tipos de operaciones, cuya importancia por lo que respecta al polvo queda determinada por el material manipulado y las técnicas utilizadas. Las técnicas de recogida y descarga del material se pueden clasificar en continuas y por lotes, tal como se indica en la Tabla 3.65.

1. recogida de material, p. ej.:

- descarga desde embarcaciones o vagones mediante cucharas de almeja,
- descarga mecánica desde embarcaciones o vagones mediante elevadores de cangilones,
- descarga neumática desde embarcaciones mediante sifones,
- recogida de material mediante elevadores de cangilones;

2. transporte de material, p. ej.:

- rotación de la cuchara llena con el brazo de la grúa,
- transporte mediante elevadores de cangilones o cintas transportadoras,
- transporte mediante sistema neumático,
- transporte de material en un cangilón de un elevador de cangilones;

3. descarga de material, p. ej.:

- descarga del material mediante la apertura de la cuchara sobre el área de carga, en una tolva o en una pila,
- descarga desde una cinta transportadora sobre el área de carga, en una tolva, en una pila o en otro sistema de transporte,
- la carga de un camión, vagón o embarcación mediante una tubería o conducción,
- la descarga del material desde un elevador de cangilones de un volquete,
- descarga neumática o atmosférica (por gravedad) de un camión silo.

Existe una tendencia mundial hacia el uso de sistemas continuos para la descarga de materiales a granel específicos. Esto es especialmente válido para el transporte

marítimo, pero también para la descarga neumática de vagones o camiones silo. La importancia creciente de los sistemas de descarga continuos en el transporte marítimo está causada por dos factores. El primero es que proporciona una descarga relativamente rápida y eficiente, aspecto importante para ahorrar costes de atraque. El segundo es que los sistemas continuos generan menos polvo y ruido y es posible reducir las pérdidas de material, en comparación con las técnicas basadas en cucharas. El uso de sistemas de descarga continuos para embarcaciones está limitado por el tamaño del área de carga libre del buque. Si la abertura de la bodega es demasiado pequeña (por ejemplo en el caso de petroleros reconvertidos), los sistemas mecánicos como elevadores de cangilones o tornillos sin fin no acostumbran a resultar prácticos. En estos casos son preferibles los sistemas de cuchara, con palas de carga frontal para el agramilado.

Durante la carga se emite polvo si:

- se cambia el movimiento del flujo de masa (cambio de dirección o de velocidad),
- se reduce el tamaño de las partículas por trituración o fricción,
- disminuye la humedad del material a causa de las condiciones climáticas.

Estrechamente asociado al proceso de carga se halla el agramilado del material. Este proceso es necesario cuando:

- debe descompactarse el material antes de que la cuchara pueda cogerlo,
- el brazo del descargador es demasiado corto y el material debe llevarse hasta un punto central,
- el aparato de recogida es de manejo difícil y poco preciso,
- debe retirarse el material residual de los bordes.

Otros procedimientos para limpiar residuos de vagones y camiones son:

- procedimientos mecánicos, como vibradores, si se usan volquetes, o cepillos,
- procedimientos hidráulicos, como lavado de camiones o chorro de agua directa,
- procedimientos neumáticos, como aspiradores industriales.

En muchos casos se usan sistemas de carga frontal para capturar el material restante y limpiar la bodega. En general la limpieza sólo es necesaria cuando se manipulan diferentes materiales a granel. Se describen dos métodos de recogida y eliminación de residuos sólidos en embarcaciones en *Übereinkommen über die Sammlung, Abgabe und Annahme von Abfällen in der Rhein- und Binnenschifffahrt, Anlage 2, Anhang III Entladestandards und Abgabe-/ Abnahmevorschriften für die Zulässigkeit der Einleitung von Wasch-, Niederschlags-, und Ballastwasser mit Ladungsrückständen; Zentralkommission für die Rheinschifffahrt.*

El uso de sistemas transportadores continuos depende de:

- las propiedades del material, como la densidad aparente y el ángulo de la pila, el tamaño de las partículas, las propiedades de adhesión y de cohesión y la sensibilidad a la humedad,
- la sensibilidad del material ante la manipulación mecánica y sus propiedades térmicas y químicas,
- el ritmo de transporte necesario,
- los aspectos económicos.

3.4.2.2. CUCHARAS DE ALMEJA

Descripción: Las cucharas de almeja son dispositivos técnicos con dos o más cuencos controlados que penetran abiertos en el material a granel, lo recogen cerrando los cuencos y lo descargan abriéndolos. En general, la capacidad de las cucharas (que depende de su tipo, peso y tamaño) está limitada a 2000 - 2500 t/h. Las cucharas suelen usarse sólo para recoger el material, mientras que para su posterior transporte se usan cintas transportadoras. La Figura 3.30 muestra una cuchara de dos cuencos.

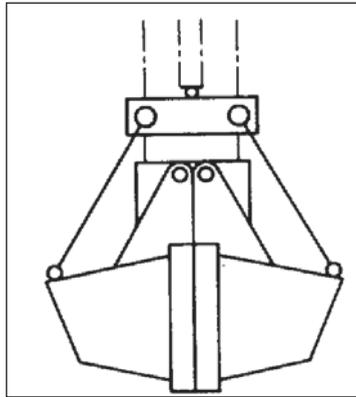


Figura 3.30: Cuchara de dos cuencos
[17, UBA, 2001, 91, Meyer and Eickelpasch, 1999]

Las cucharas son la herramienta más usada para los procesos de carga y descarga, ya que

- son versátiles,
- se pueden cambiar fácilmente cuando debe manipularse otro tipo de material a granel,
- su coste es relativamente bajo,
- pueden cargar y descargar a la misma velocidad.

Los posibles inconvenientes de las cucharas pueden ser:

- la gran dependencia de una correcta técnica de operación,
- la proporción ligeramente menor entre la capacidad nominal y la capacidad efectiva respecto a las técnicas de descarga continuas,
- el peso de los cuencos de la cuchara.

El control de las cucharas suele realizarse mecánicamente con cables. La opción de control hidráulico con motores es poco usada para materiales a granel. Una cuchara con cables tarda unos 10 segundos en cerrar los cuencos, mientras que una cuchara con motor tarda 20.

La forma de los bordes de la cuchara es importante para controlar las emisiones de polvo. La Figura 3.31 muestra los diferentes perfiles.

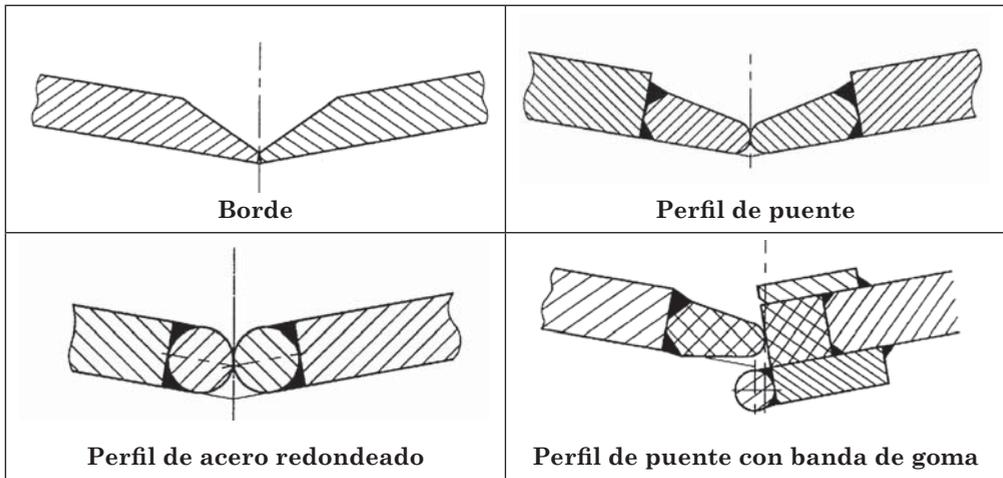


Figura 3.31: Diferentes formas de los bordes de la cuchara [17, UBA, 2001] con referencias a MB Kröger Greifertechnik GmbH

La unión de caucho es especialmente adecuada para materiales a granel muy finos, como harina de pescado. En el caso de materiales a granel gruesos, como el hierro y los minerales, las juntas de caucho no son lo bastante resistentes y, en consecuencia, no se usan. Este tipo de juntas deben limpiarse y mantenerse de forma regular para no perder efectividad.

Si se manipulan diferentes materiales, suelen usarse juntas con dos bordes de acero redondeados. El ajuste preciso de los bordes es básico para un cierre óptimo y una emisión de polvo mínima. Los problemas con el ajuste preciso pueden aparecer a causa de la abrasión constante de los bordes. Los bordes que se superponen no son adecuados porque son especialmente sensibles al daño.

Emisiones: las etapas del proceso relevantes para las emisiones son:

- descarga del material (la formación de polvo depende de la altura de caída),
- sobrecarga o cierre insuficiente de los cuencos (el material se derrama),
- giro de las cucharas (emisiones de polvo a causa del desplazamiento).

Aplicabilidad: las cucharas se usan para el transporte de buque a buque así como de buque al almacenamiento o a los vagones y también para desplazar el material del almacenamiento a la planta de procesamiento. Puede aplicarse para casi todos los materiales a granel, incluyendo los que tienen un alto contenido de humedad (no sucede así con los sistemas neumáticos, por ejemplo). Sin embargo, su uso debe evitarse en el caso de materiales a granel secos sensibles al arrastre, a causa de las potenciales emisiones de polvo.

3.4.2.3. TOLVAS DE DESCARGA

Descripción: las tolvas de descarga son dispositivos que recogen el producto descargado (desde cucharas o cintas transportadoras) y lo reparten en forma de chorro sobre el área de carga de un vehículo (camión o vagón), en otro sistema de transporte o en un sistema de almacenamiento. Acostumbran a estar equipadas con rejillas o laminillas para garantizar un flujo uniforme de material y para evitar que fragmentos grandes bloqueen el flujo; las laminillas exigen que el material a granel sea bastante fluido. Se usan alimentadores para una entrega uniforme al siguiente dispositivo de transporte. Las tolvas se pueden equipar con un tubo de llenado de altura ajustable y con una pantalla para polvo cuando se usan, por ejemplo, para la carga de vehículos.

Aplicabilidad: carga y descarga de materiales a granel en puertos; p. ej. descarga de buques mediante cucharas o descarga en una cinta tras descarga de silos para cargar un camión o un vagón. Las tolvas son adecuadas para casi todo tipo de materiales a granel (hasta un tamaño determinado), como granos, fertilizantes, carbón, minerales metálicos no férricos o concentrados y materias primas de la industria cementera.

3.4.2.4. CUBAS

Descripción: las cubas se usan para cargar y para transportar. Se trata de recipientes transportables equipados con una puerta como mínimo. No pueden recoger material, sino que acostumbran a llenarse por su parte superior. Para vaciarlas, se ladea una placa inferior (cuba de vaciado inferior), se inclina toda la cuba (cuba basculante) o se abren las compuertas (cuba similar a una cuchara de almeja). Las cubas no son adecuadas, en general, para productos pulverulentos. La Figura 3.32 muestra diferentes tipos de cubas.

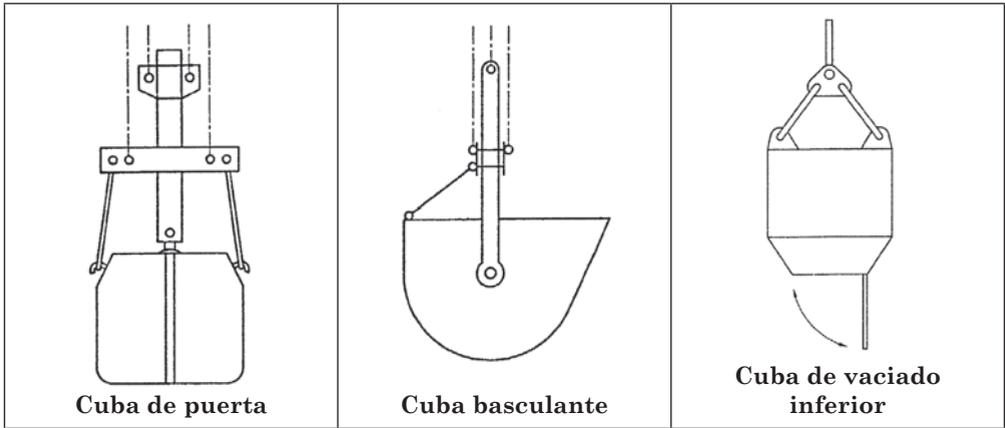


Figura 3.32: Diferentes tipos de cubas [17, UBA, 2001] con referencia a la DIN 30800-3

3.4.2.5. TRANSPORTADORES POR ASPIRACIÓN DE AIRE

Descripción: los transportadores neumáticos, como los de aspiración de aire, transportan el material en tuberías cerradas mediante un flujo de aire, con el compresor de aire situado al final de la cadena de procesamiento. Existen instalaciones de aspiración y de presión y la Figura 3.33 muestra el principio básico del sistema de aspiración. El sistema de aspiración, que no es un dispositivo de descarga, sino de transferencia, se describe en el apartado 3.4.2.18.

Los transportadores por aspiración de aire se pueden instalar como dispositivos móviles o fijos. Los sistemas móviles son adecuados si en el mismo punto se realizan diferentes actividades portuarias o si sólo se necesita la instalación de vez en cuando. Las instalaciones fijas son cada vez más numerosas, ya que el transporte de productos está aumentando continuamente junto con el número de terminales especializadas adecuadas.

El material es aspirado por una tobera y luego se transporta, en condiciones de vacío, hasta el separador, que separa el flujo de aire y el flujo de material. El material transportado se descarga, en la mayoría de casos, sobre compuertas de ruedas alveolares. En este punto se separa el vacío de la presión atmosférica. A continuación, el material descargado se transfiere a sistemas de transporte continuos.

Este tipo de instalación es muy flexible, gracias a:

- el movimiento rotatorio y de vaivén del cabezal aspirador,
- la flexión y extensibilidad del tubo de aspiración vertical,
- el concepto fácilmente adaptable de la instalación.

Prácticamente se puede alcanzar cualquier zona del buque de la cual deba descargarse producto. Al final de la fase de descarga, la capa de material es demasiado fina y es más práctico entonces usar, por ejemplo, una pala de carga frontal para capturar el material restante.

La velocidad de transporte de los transportadores neumáticos está influida por el tipo de material, la sección eficaz de la tubería, la presión de aire y el recorrido. Por ejemplo, el grano puede tener una velocidad de transporte de 500 a 600 toneladas por hora, mientras que el óxido de aluminio de 1000 toneladas por hora.

Las ventajas básicas son la prevención de polvo a causa del sistema cerrado y el control de polvo mediante filtros, la construcción simple, el largo tiempo de vida útil y el hecho de que no se usan partes móviles en la sala de carga. La inversión es relativamente baja. Un inconveniente importante es, a menudo, el gran consumo de energía.

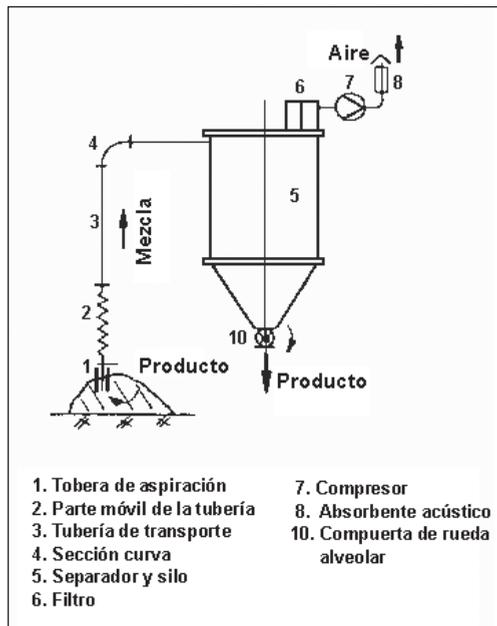


Figura 3.33: Principio de funcionamiento de un transportador por aspiración de aire [17, UBA, 2001] con referencia a Pfeifer, 1989

Aplicabilidad: los transportadores por aspiración de aire son adecuados para materiales a granel cuya densidad específica sea inferior a $1,2 \text{ g/cm}^3$. Se usan en muchos campos industriales, habitualmente en agricultura, minería, industria química e industria alimentaria, para materiales como granos, óxido de aluminio, coque de petróleo, cemento, caliza, cal y arcilla, potasa, sulfatos de sodio y

productos químicos similares, fertilizantes, sales y algunos plásticos. Se usan en la descarga de buques, vagones y camiones.

Emisión: se pueden instalar filtros de mangas adicionales detrás del separador para eliminar el polvo del aire emitido. Se pueden lograr valores de emisión de polvo de 5 mg/Nm³, pero los filtros se dimensionan para un valor de emisión de polvo de 20 a 25 mg/Nm³ para reducir la inversión.

Al igual que todos los sistemas neumáticos, los transportadores por aspiración de aire consumen mucha energía: para materiales ligeros como los agrícolas, son habituales valores de 1 kWh por tonelada y para materiales pesados, como la arcilla o el cemento, son habituales valores de 2 kWh por tonelada. En comparación, los sistemas transportadores mecánicos pueden presentar valores de entre 0,3 y 0,8 kWh por tonelada.

3.4.2.6. DISPOSITIVOS DE CARGA MÓVILES

Descripción: los dispositivos de carga móviles son excavadores y cargadores frontales. Se usan para:

- trabajar en pilas pequeñas,
- cargar vehículos,
- llevar el material a silos o cajas,
- alimentar tolvas,
- captura del material en buques.

Emisiones: las emisiones se producen al elevar la pala, por erosión eólica o en el vertido. La manipulación abierta favorece la formación de polvo.

3.4.2.7. VACIADO DE VAGONES Y CAMIONES

Descripción: los vagones y los camiones se usan para transportar granos, fertilizantes, carbón, arena y minerales. La Tabla 3.67 presenta los vagones y camiones para materiales a granel usados habitualmente en Alemania.

El vaciado de vagones y camiones se realiza a través de aberturas de descarga lateral o por la parte inferior del vehículo. En el vaciado lateral, el material se lleva mediante canalones hacia el siguiente dispositivo de manipulación o directamente sobre cintas transportadoras. El principio es similar a la descarga a granel por canalones de los vehículos para carreteras y a menudo se usa para fertilizantes. Los puestos de descarga acostumbran a estar cubiertos o parcialmente cerrados (especialmente al tratar materiales a granel sensibles

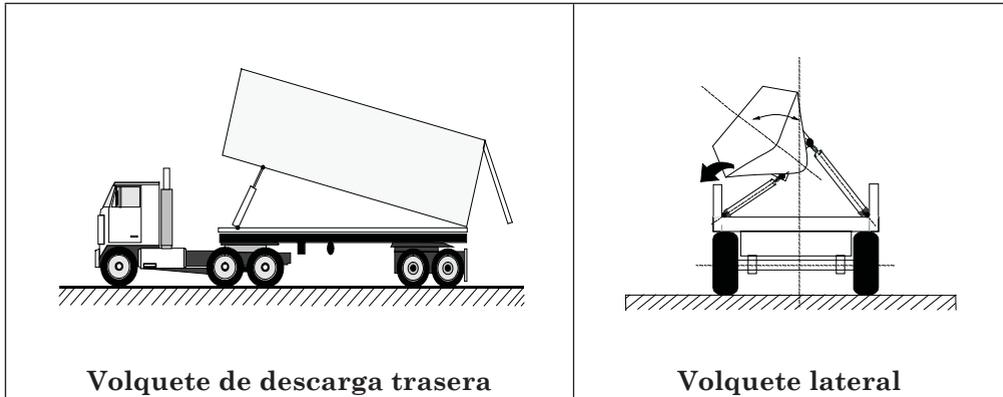
a la humedad). Para la descarga ferroviaria no es habitual el uso de edificios totalmente cerrados.

Tabla 3.67: Resumen de vagones y camiones habituales para materiales a granel [17, UBA, 2001]

Tipo	Principio de funcionamiento	Material a granel
1. vagón/camión abierto	<ul style="list-style-type: none"> • vagón/camión abierto por la parte superior • no se carga automáticamente (parcialmente mediante cucharas o equipo basculante especial) 	Carbón, briqueta, chatarra, minerales, piedra y yeso
2. vagón/camión abierto con descarga por gravedad – dosificable	<ul style="list-style-type: none"> • espacio de carga con diversas tolvas yuxtapuestas • descarga lateral de material dosificado por gravedad mediante aberturas dosificadoras 	Grava, arena y fragmentos de piedras
3. vagón/camión abierto con descarga por gravedad – instantánea	<ul style="list-style-type: none"> • vagón/camión abierto por la parte superior • parte inferior en forma de silla de montar • descarga de material instantánea a través de puertas laterales (también con descarga por la parte inferior) 	Grava, arena, fragmentos de piedras y yeso
4. vagón/camión volquete	<ul style="list-style-type: none"> • vagón/camión con un depósito basculante lateral (para camiones también frontal) y accionado con un pistón neumático • válvulas independientes (la inferior sirve de canal de descarga) 	Residuos de construcción, materiales de construcción y yeso
5. vagón/camión para descarga a presión	<ul style="list-style-type: none"> • vagón/camión cerrado • vaciado en silos mediante tuberías 	Cemento, harina de cal, arena de cuarzo, sosa, óxido de aluminio, azúcar, harina, sémola y sal
6. vagón/camión cerrado con descarga por gravedad – dosificable	<ul style="list-style-type: none"> • igual que 2, pero con techo giratorio 	Materiales a granel sensibles a la humedad, como granos
7. vagón/camión cerrado con descarga por gravedad – instantánea	<ul style="list-style-type: none"> • igual que 3, pero con techo giratorio 	Materiales a granel sensibles a la humedad, como yeso

En los puertos es habitual descargar vagones y camiones lateralmente sobre cintas transportadoras; el material se transporta a un medio de transporte posterior (vagón o barco) o a un sistema de almacenamiento (pila, cobertizo o silo). La Figura 3.34 muestra un camión basculante de descarga trasera y lateral; la 8.1 en el anexo 8.8 muestra algunos tipos de vagones usados en el sistema ferroviario alemán, con sus diferentes técnicas de descarga.

Emisiones: la carga (mediante cucharas, tuberías de carga o desde cintas transportadoras) y la descarga de los vagones son las dos etapas relevantes del proceso. Se pueden instalar sistemas de encapsulamiento o de aspiración.



Volquete de descarga trasera

Volquete lateral

Figura 3.34: Volquetes [17, UBA, 2001, 91, Meyer and Eickelpasch, 1999]

3.4.2.8. POZOS DE DESCARGA

Descripción: los pozos de descarga son excavaciones en el suelo cubiertas con una rejilla sobre la que se vierte el material a gran velocidad. Suelen utilizarse para descargar vagones volquete (con grano, por ejemplo).

Los pozos de descarga pueden disponer de las llamadas barreras de polvo. Estas laminillas se abren cuando se vierte el material. El polvo que se levanta se retiene gracias al material que sigue entrando o, cuando se detiene el flujo de material, cerrando las barreras. Los pozos de descarga también pueden estar equipados con un sistema de aspiración. Además de las barreras de polvo o de un sistema de aspiración, toda el área de recepción puede estar cerrada. Otra posibilidad es encerrar el vehículo y la zona del pozo mediante un sistema de cortinas móviles.

Aplicabilidad: los pozos de descarga se desarrollaron para la descarga de grano, pero, en principio, son aplicables para todos los materiales a granel de flujo libre.

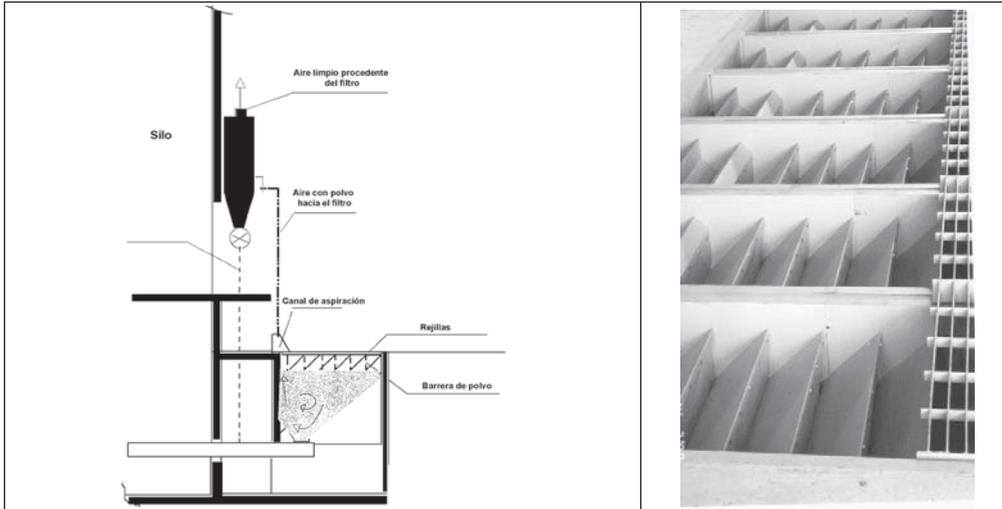


Figura 3.35: Pozo de descarga con aspiración y barrera de polvo [17, UBA, 2001] con referencias a Franz Rubert and Co. GmbH, 2000 (imagen izquierda) y Raiffeisen Hauptgenossenschaft Nord AG, 2000 (imagen derecha)

Emisiones: los pozos de descarga sin barreras de polvo pueden provocar emisiones de polvo considerables; cuando se descarga el grano, el polvo puede alzarse hasta una altura de tres metros y dispersarse por los alrededores. A veces los pozos de descarga disponen de equipos de aspiración.

3.4.2.9. TUBERÍAS DE LLENADO

Descripción: en las tuberías de llenado el material se desliza o cae por una tubería por gravedad. Existen diversas variantes de las tuberías de llenado y también se conocen con los nombres de «tuberías de carga» y «bajantes». La Figura 3.36 muestra un cargador de embarcaciones para materiales a granel con una tubería de llenado.

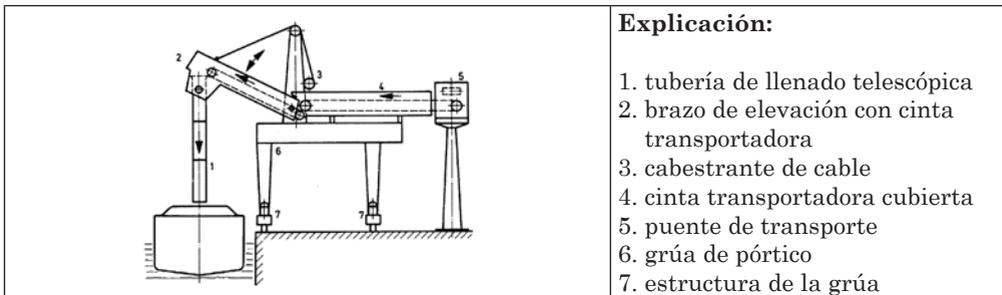


Figura 3.36: Cargador de embarcaciones con tubería de llenado [17, UBA, 2001] con referencias a Pfeifer, 1989

Las tuberías de llenado están disponibles en forma de tubería rígida o como tubería móvil vertical u horizontal. La movilidad se consigue mediante dispositivos de elevación con cuerdas, brazos telescópicos e instalaciones con movimiento de vaivén. En una tubería de llenado móvil la altura de la caída se puede regular (automáticamente) y se pueden instalar cabezales de carga en el extremo de la tubería para regular el volumen de salida. Una tubería de llenado móvil también puede estar formada por una tubería superior y una tubería inferior, unidas por una junta; la tubería inferior es telescópica y el alargamiento se consigue con partes deslizantes o poleas. En tuberías muy largas se instalan deflectores para reducir la velocidad de caída.

Aplicabilidad: las tuberías de llenado se utilizan en la carga de contenedores, camiones, trenes y embarcaciones.

3.4.2.10. CONDUCTOS DE LLENADO

Descripción: los conductos de llenado (también llamados conductos de carga) se pueden usar para la carga cerrada y abierta. Para la carga abierta de materiales a granel en camiones abiertos, embarcaciones o pilas, se fijan cubiertas o plataformas en el extremo del conducto para minimizar la dispersión del polvo. En la carga cerrada en camiones silo o contenedores, se fija un cono con alarma de llenado en el extremo del conducto, de forma que no se pueda emitir polvo. El conducto está formado por un conducto interno y uno externo y está hecho de plástico o de un tejido plástico resistente.

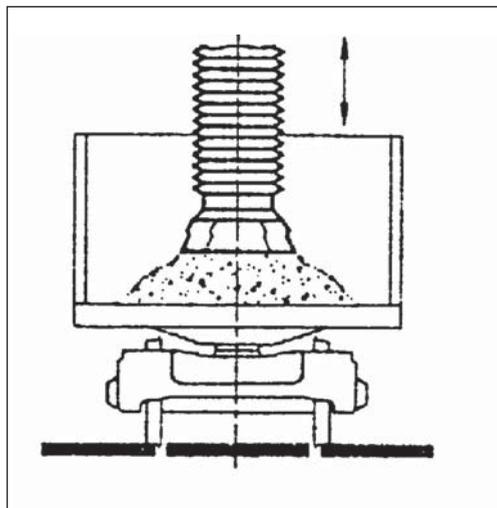


Figura 3.37: Conducto de llenado [17, UBA, 2001] con referencias a la DIN 30800-3

Aplicabilidad: los conductos de llenado se usan en la carga de contenedores, camiones, vagones y embarcaciones.

Emisiones: similares a las de las tuberías de llenado (apartado 3.4.2.9); un conducto de llenado minimiza la superficie libre para lograr una carga prácticamente sin emisión de polvo.

3.4.2.11. TUBOS EN CASCADA

Descripción: Un tubo en cascada es un conducto de llenado en el que se coloca un sistema de cascada (véase la Figura 3.38). El material se desliza y cae alternativamente. La escasa altura de caída y los cambios en la dirección de caída del material consiguen que la formación de polvo sea mínima durante la carga y que el material se trate con mayor cuidado.

Se dispone de tubos en cascada con capacidades de 30 a 5000 m³/h. Están cubiertos con polietileno de muy alta densidad, aluminio sinterizado, ladrillos cerámicos y acero, que son resistentes a la abrasión.

La instalación de un sensor de nivel permite que el tubo mantenga automáticamente la distancia adecuada desde la superficie del material.

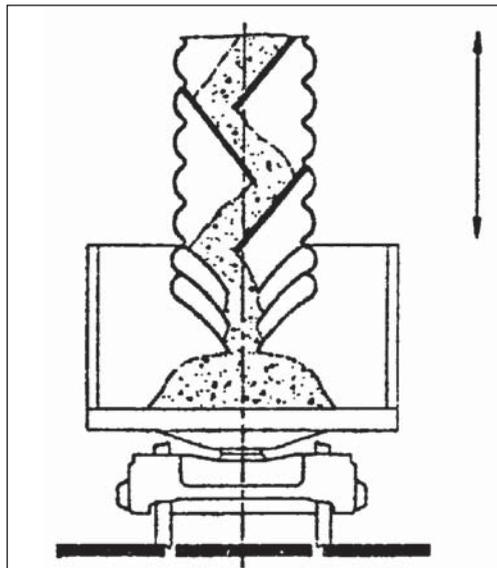


Figura 3.38: Tubo en cascada [17, UBA, 2001] con referencias a la DIN 30800-3

Aplicabilidad: los tubos en cascada se usan para cargar contenedores, silos, camiones, vagones y embarcaciones y para la transferencia entre cintas transportadoras. Los materiales a granel adecuados son: materiales a granel entre pulverulentos y gruesos, como potasa, fosfatos, granos, carbón, coque, sodio pesado, óxido de aluminio, cemento, fosfato de sodio, maíz y piensos animales. La técnica es de construcción relativamente simple y sólo necesita un mantenimiento y limpieza simples.

Emisiones: los tubos en cascada no sólo minimizan la superficie libre en el punto de descarga, sino que también reducen la velocidad del material y consiguen una carga prácticamente sin emisión de polvo.

Aspectos económicos: un efecto positivo es la reducción en la pérdida de calidad del material manipulado.

Plantas de referencia: Kali Transport Hamburg, los puertos de Wismar, Lübeck y Philippstal, Alemania.

3.4.2.12. RAMPAS

Descripción: las rampas son transportadores de material a granel en las que el material se desliza hacia abajo en un canal abierto o cerrado. Se usan como dispositivos de carga o de transferencia entre dos transportadores y existen como rampas móviles y fijas. Las rampas móviles pueden girarse vertical u horizontalmente o desplazarse hacia delante, hacia atrás o en diagonal.

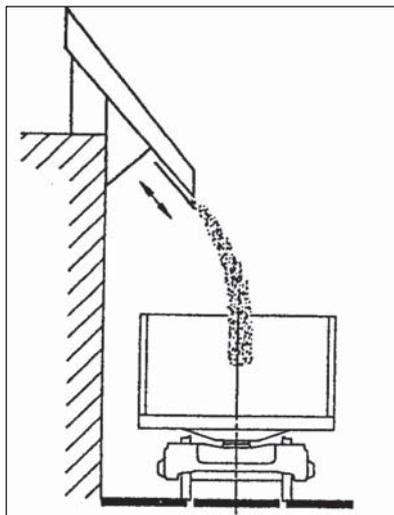


Figura 3.39: Carga de un vagón mediante una rampa [17, UBA, 2001] con referencias a la DIN 30800-3

Se necesita un ángulo mínimo de inclinación, que varía en función de las propiedades de fluidez del material a transportar. Aunque se puede usar un recubrimiento de baja fricción o alta abrasión para proteger la rampa, el desgaste seguirá produciéndose, a una velocidad que depende de:

- la longitud de la caída,
- el ángulo de inclinación,
- el área de carga específica,
- la velocidad de deslizamiento,
- las propiedades de fricción del material de la rampa.

Aplicabilidad: en general, las rampas son adecuadas para materiales no aglomerantes y para operaciones en seco. A causa de las emisiones de polvo, las rampas no se pueden usar para materiales finamente pulverizados.

Emisiones: cuanto más fino sea el material, más polvo formará.

3.4.2.13. CINTAS LANZADORAS

Descripción: las cintas lanzadoras son cortas cintas transportadoras de goma con grandes velocidades de transporte, de 10 a 20 m/s. Se usan como último elemento de una cadena de carga si, por particularidades locales, el sistema de transporte o de carga no se puede instalar lo bastante cerca del punto de descarga. Algunos ejemplos son:

- carga de embarcaciones en combinación con cargadores verticales si el puente de carga no es lo bastante largo;

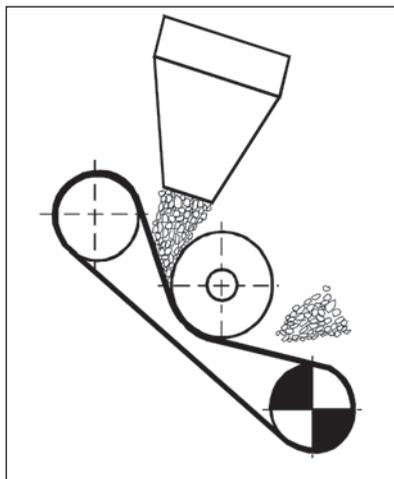


Figura 3.40: Cinta lanzadora [17, UBA, 2001, 91, Meyer and Eickelpasch, 1999]

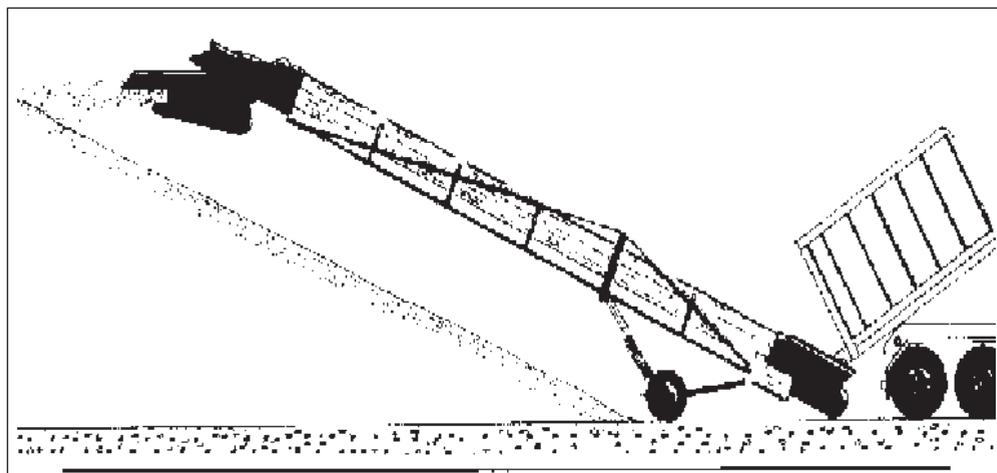


Figura 3.41: Cinta lanzadora utilizada para la construcción de pilas [17, UBA, 2001, 91, Meyer and Eickelpasch, 1999]

- alimentación de pequeñas pilas si las propiedades del material implican que, en cualquier otro caso, sólo se pueden conseguir pilas de pequeño ángulo de inclinación.

Aplicabilidad: las cintas lanzadoras se usan en situaciones en que el sistema de transporte o de carga no se puede instalar lo bastante cerca del punto de descarga.

Emisiones: las cintas lanzadoras producen una gran cantidad de emisiones de polvo.

3.4.2.14. CINTAS TRANSPORTADORAS

[17, UBA, 2001] [137, suppliers information, 2002] [139, suppliers information, 2001] [138, suppliers information, 2001] [78, DCMR Milieudienst Rijnmond, 1995]

Descripción: las cintas transportadoras son el sistema de transporte continuo más usado y más conocido. En las cintas transportadoras el material a transportar se desplaza sobre una cinta sin fin, de caucho o plástico, apoyada en poleas de soporte, en bandas de deslizamiento o sobre una capa de aire. Los diversos tipos de cintas son:

Cintas transportadoras convencionales

En las cintas transportadoras convencionales, el material se transporta en la parte superior de una cinta de caucho sin fin con un refuerzo de alambre. Se usan como sistemas móviles o como parte de instalaciones fijas. Una característica de las cintas convencionales es su concavidad.

Emisiones de cintas transportadoras: en los sistemas de transporte abierto en exteriores las emisiones de polvo son causadas por el viento, un efecto exacerbado por las vibraciones de cintas transportadoras sin soportes. Las emisiones de polvo también se producen cuando cae material aglomerado mientras la cinta se desplaza hacia atrás tras la descarga. Pueden producirse emisiones de polvo del material que se incorpora a la cinta si la velocidad de alimentación no coincide con la de la cinta. Otra fuente de emisiones es la sobrecarga de la cinta, con la consiguiente caída de material.

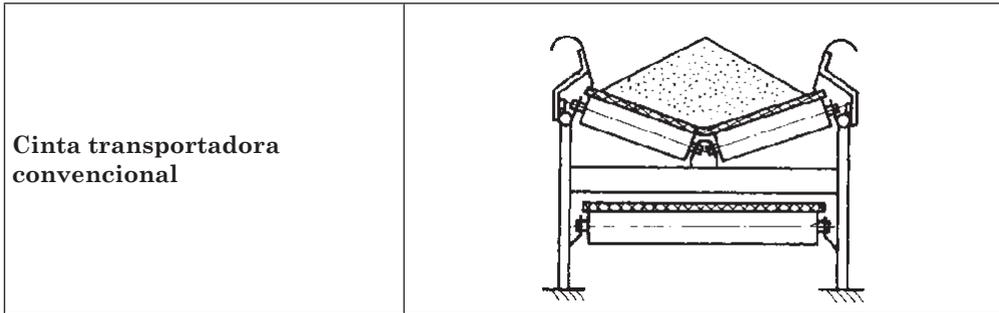


Figura 3.42: Cinta transportadora convencional [91, Meyer and Eickelpasch, 1999]

Cintas transportadoras inclinadas

Las cintas transportadoras inclinadas son parecidas a las cintas convencionales. Para superar fuertes pendientes, la cinta se refuerza con perfiles o pequeñas cintas laterales.

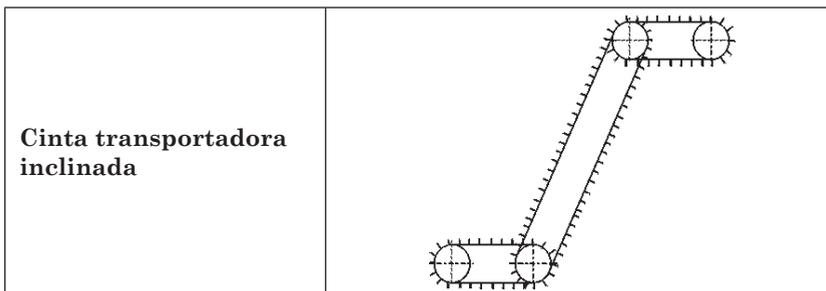


Figura 3.43: Esquema de una cinta transportadora inclinada [17, UBA, 2001]

Cintas transportadoras colgantes

Las cintas transportadoras colgantes son un tipo de cinta transportadora relativamente nuevo que no se usa muy a menudo, a causa de su elevado coste. La cinta se dispone en forma de lazo cerrado mediante presión y poleas de apoyo, y se abre para descargar el material. Con este tipo de cinta transportadora se pueden conseguir curvas extremadamente cerradas (de hasta 0,4 metros).

La innovación más reciente en el campo del transporte vertical continuo es una cinta en forma de bolsillos (patentado) que hace innecesario cualquier tipo de articulación. La velocidad de la cinta puede llegar a 6 m/s. Estos tipos de transportadores en aplicaciones para pozos alcanzan caudales de hasta 1000 m³/h con una elevación de 500 metros. En recipientes de descarga automática, pueden conseguir caudales de hasta 5000 m³/h con una elevación de 35 metros. En una vía vertical se puede transportar cualquier tipo de material, ya que se dispone de diferentes tipos de gomas para adaptarse a las diversas necesidades, como resistencia térmica o resistencia al aceite. Gracias a su construcción simple, con menos piezas rotatorias, este tipo de sistema ofrece mayores ventajas en términos de ahorro energético a causa de sus menores pérdidas por fricción.

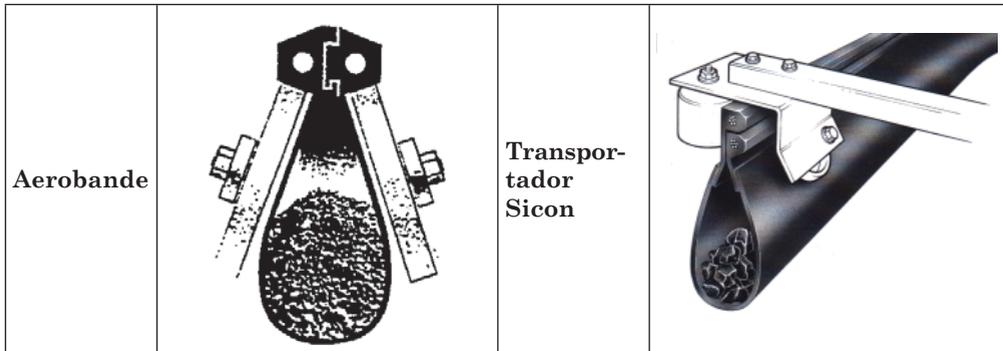


Figura 3.44: Ejemplos de cintas transportadoras colgantes [78, DCMR Milieudienst Rijnmond, 1995]

Cintas transportadoras de tubo

Las cintas transportadoras de tubo son un tipo particular de cinta transportadora convencional. Tras una sección de alimentación, la cinta forma una sección transversal casi circular, los bordes de la cinta se solapan y forman un tubo cerrado. El material se transporta en la cara interna de la cinta, que se desplaza gracias a poleas de accionamiento (de 3 a 5). El material queda protegido de las condiciones meteorológicas y se reducen las emisiones de polvo. En el punto de descarga (habitualmente cerrado) se abre la cinta y se vierte el material.

Las cintas transportadoras de este tipo son adecuadas para materiales finos y grumosos, con un tamaño de partícula de hasta un tercio del diámetro del tubo. Se usan para salvar grandes distancias (y pendientes de hasta 60°), por ejemplo en minas e industria siderúrgica y metalúrgica, ya que el sistema permite trazar curvas, con lo que se evita la necesidad de puntos de transferencia intermedios. Otras aplicaciones se hallan en la industria del cemento, fertilizantes, industria alimentaria e industria química, para transportar materiales como minerales, carbón, coque, caliza, piedra irregular, cemento, yeso, mineral de cobre concentrado, cenizas y sales.

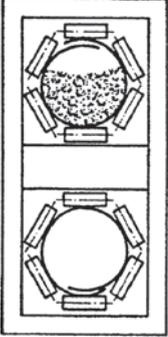
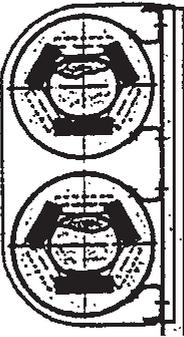
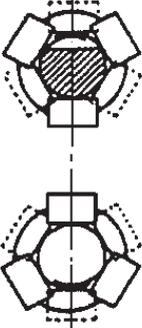
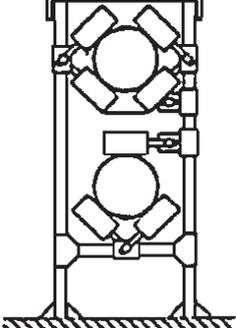
Cinta transportadora de tubo		Transportador Rollgurt	
Nueva cinta transportadora de tubo			
Cinta transportadora de tubo Mitsui		Supertransportador (Rondex)	
Cinta transportadora tubular			
Transportador Tokai			

Figura 3.45: Diferentes tipos de cintas transportadoras de tubo [78, DCMR Milieudienst Rijnmond, 1995]

La velocidad de la cinta se encuentra entre los 60 m/min y los 300 m/min, aproximadamente igual que una cinta transportadora convencional. Por lo que respecta a la capacidad, una cinta transportadora de tubo puede transportar la misma cantidad que una cinta convencional cuya anchura sea tres veces el diámetro del tubo.

Cintas transportadoras dobles

Las cintas transportadoras dobles usan dos cintas, habitualmente una cinta de soporte (o transporte) y una cinta de cobertura, que se unen en la parte inclinada o vertical de la instalación. La cinta de soporte presenta unos bordes elevados y un perfil transversal que soportan el material durante el transporte vertical. En

la parte inferior, la cintas pasan por encima de un tambor del que recogen el material mientras se desplazan hacia abajo. El efecto de cuña entre las dos cintas permite desplazar el material hacia arriba hasta el punto de transferencia, que puede ser una tolva.

Esta técnica requiere un tamaño de partícula relativamente uniforme. En general son adecuados materiales entre finos y gruesos, pero no para materiales pulverulentos o grumosos, ni para los que tienen tendencia a aglomerarse. Este tipo de cinta es especialmente adecuada para productos vulnerables al deterioro o la degradación. Un inconveniente de la cinta doble (en bocadillo) es que no puede trazar curvas.

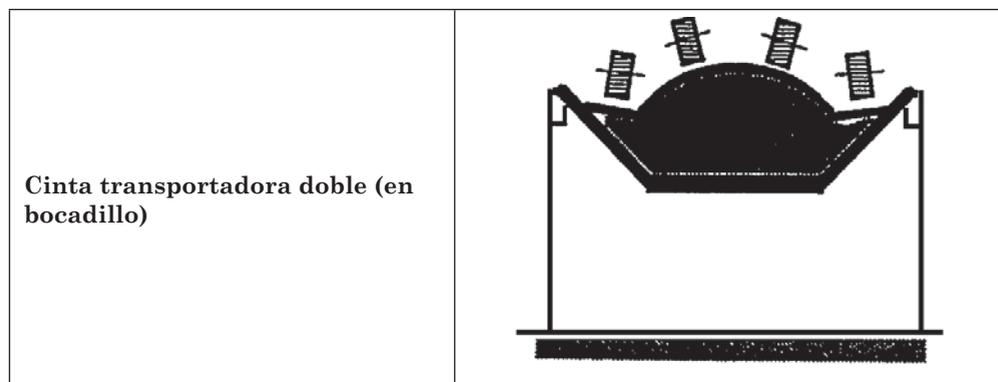
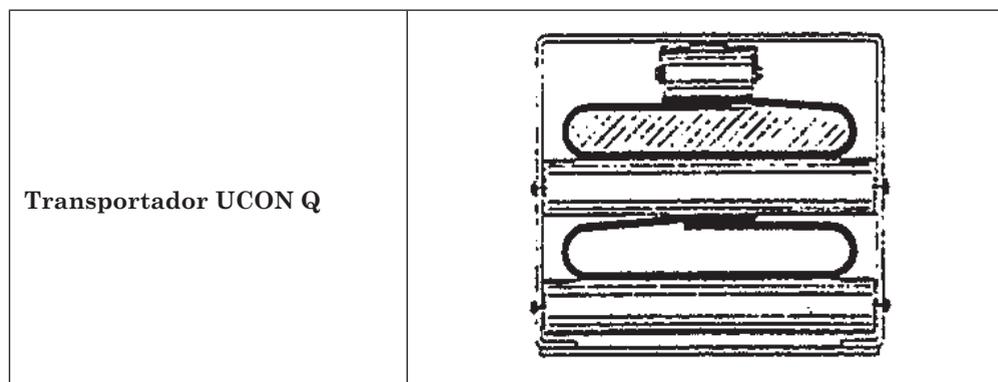


Figura 3.46: Ejemplo de cinta transportadora doble [78, DCMR Milieudienst Rijnmond, 1995]

Cintas transportadoras plegadas

En este tipo de cintas transportadoras, la cinta se dobla con ayuda de poleas de soporte de forma que el producto queda totalmente encerrado.



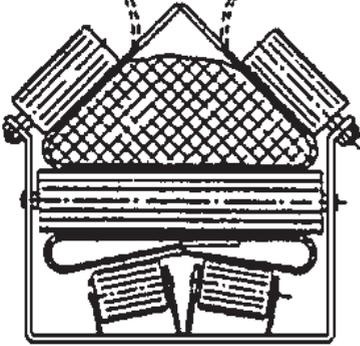
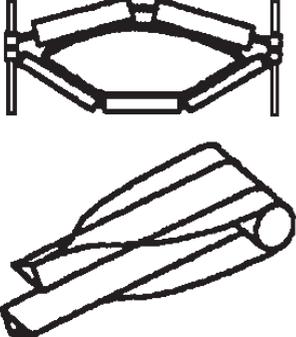
<p>Transportador UCON Delta</p>	
<p>Cinta transportadora plegada</p>	

Figura 3.47: Ejemplos de cintas transportadoras plegadas [78, DCMR Milieudienst Rijnmond, 1995]

Transportadores de cremallera

En los transportadores de cremallera el producto queda totalmente encerrado por la cinta, ya que sus bordes se unen mediante una cremallera.

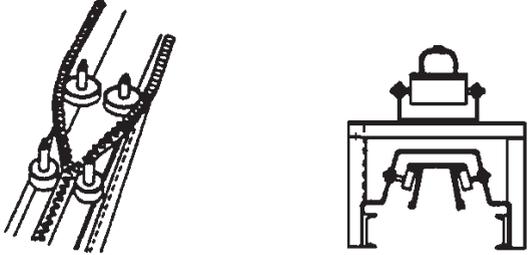
<p>Transportador de cremallera</p>	
------------------------------------	--

Figura 3.48: Transportador de cremallera [78, DCMR Milieudienst Rijnmond, 1995]

3.4.2.15. ELEVADOR DE CANGILONES

Descripción: los elevadores de cangilones son transportadores en que los cangilones que recogen el material están unidos a un mecanismo accionador, como una cadena o una cinta transportadora. La forma y el material de los cangilones depende del material a transportar. Los elevadores de cangilones se usan para el transporte vertical, ya que pueden alzar el material a grandes alturas, pero también se usan como descargadores continuos de embarcaciones para transportar el material vertical y horizontalmente con un mismo dispositivo; en estos casos, el transportador adopta forma de L. La ventaja de una forma de L es que el material a granel se puede recoger bastante cerca del nivel del suelo y separado de las esquinas de la bodega, lo que reduce la necesidad de agramilado. El pie flexible del transportador se puede adaptar a la geometría de la bodega mediante sistemas hidráulicos, lo que permite optimizar el llenado de los cangilones.

El factor de llenado es la proporción entre el volumen de diseño del cangilón y el volumen real de llenado. Depende de:

- la forma y la velocidad del elevador,
- el tipo de material a granel que se manipula,
- la posición relativa de los cangilones respecto a la superficie del material,
- la posición relativa de los cangilones que se hallan en contacto con el material a granel.

La descarga del material se produce en un extremo del elevador de cangilones, por gravedad (con sistemas de transporte lento) o por fuerza centrífuga (con sistemas de transporte rápido). La velocidad del transportador es de 0,3 a 1,6 m/s en el caso de cadenas de acero y de 1,5 a 4 m/s en el caso de cintas. Se pueden conseguir alturas de 110 m con cintas y de 60 m con cadenas. La velocidad de transporte puede llegar a 3000 t/h de promedio y a un máximo de 4000 t/h.

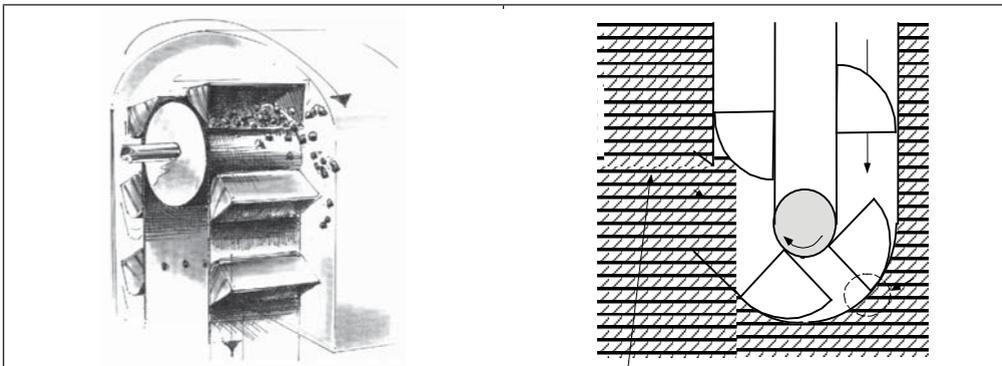


Figura 3.49: Esquema y principio de funcionamiento de un elevador de cangilones [17, UBA, 2001, 91, Meyer and Eickelpasch, 1999]

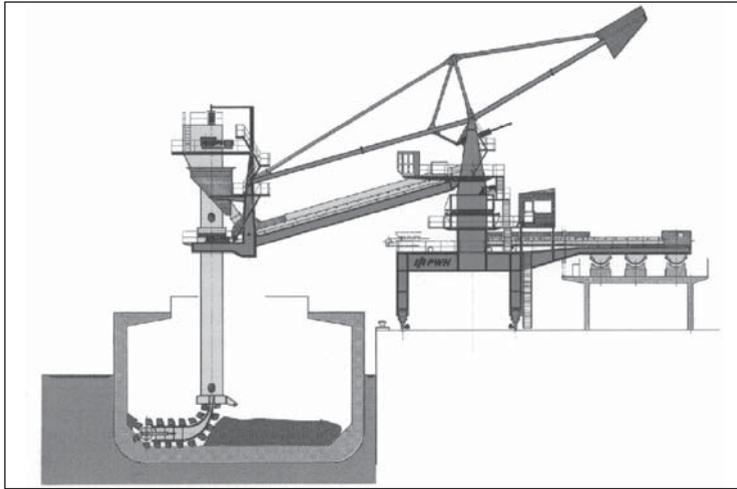


Figura 3.50: Descargador continuo de embarcaciones con elevador de cangilones y pie en forma de L [17, UBA, 2001] con referencias a Krupp Fördertechnik GmbH, 2000

Aplicabilidad: los elevadores de cangilones son adecuados para transportar materiales a granel de pulverulentos o moderadamente grumosos (hasta un tamaño de partícula de 60 mm), que no se aglomeran y no tienen propiedades fuertemente abrasivas; por ejemplo, harina, maíz, legumbres, arenas, carbón, caliza, cemento o cenizas.

Emisiones: el elevador de cangilones se halla revestido y se puede equipar con un equipo de aspiración, de forma que no se producen emisiones de polvo, o bien son muy escasas. La recogida y la descarga del material son posibles fuentes de emisión de polvo.

Plantas de referencia: se usan elevadores de cangilones con pies de recogida en forma de L en talleres siderúrgicos europeos como Riva Acciai en Tarento, Italia, Sidmar Steelwork en Gante, Bélgica, El Ferrol, España, y en Dillinger Hüttenwerke AG, Vereinigte Elektrizitätswerke Westfalen AG, Alemania.

Aspectos económicos: en el caso específico de Dillinger Hüttenwerke la inversión fue de unos 8 millones de marcos alemanes (aproximadamente 4 millones de EUR). La capacidad de este descargador de embarcaciones varía entre 1200 y 1500 t/h, según el material a transportar. La alternativa de dos puestos de descarga con cucharas de almeja hubiera requerido una inversión similar de 7 a 8 millones de marcos (año de referencia 2000), pero con sólo un tercio de la capacidad.

Los costes energéticos y de mantenimiento son un tercio menores que los de la descarga convencional mediante cucharas. Se necesitan dos personas para la operación del elevador de cangilones, mientras que para las dos cucharas se necesitan cuatro.

3.4.2.16. CINTAS TRANSPORTADORAS DE CADENA

Descripción: las cintas transportadoras de cadena son un tipo de transportador cerrado para trabajos pesados, con una o más cadenas de accionamiento continuo. Las cadenas se desplazan sobre dientes y se usan tensores para evitar que las cadenas se comben. Las cintas de cadena se caracterizan, en general, por un bajo consumo de energía; algunas unidades consumen 0,006 kWh por tonelada y metro de altura de transporte. La velocidad de la cadena no suele superar 1 m/s con un ritmo de transporte de hasta 1000 t/h. Los fragmentos de cadena dañados pueden sustituirse con relativa facilidad.

En los siguientes apartados se presentan dos tipos de cintas transportadoras de cadena: los transportadores de cadena en cubeta (apartado 3.4.2.16.1) y los transportadores de rasquetas (apartado 3.4.2.16.2).

3.4.2.16.1. *Transportadores de cadena en cubeta*

Descripción: en un transportador de cadena en cubeta, las cadenas se desplazan en el interior de una cubeta cerrada, tal como se muestra en la Figura 3.51. La forma del colector se escoge de forma que sea adecuada para el material a manipular y la ruta del transportador:

- para rutas horizontales o con pendientes suaves, se usan colectores planos, rectangulares o en forma de L;
- para rutas verticales o con fuertes pendientes, se utilizan colectores en forma de U, de horquilla o de anillo.

La recogida y descarga del material se consiguen fácilmente y el material se puede transportar verticalmente. Esta técnica exige poco espacio y no genera emisiones de polvo, o bien son muy escasas. Los inconvenientes son el gran desgaste y la considerable demanda energética. Los ritmos de transporte varían entre 10 y 2000 m³/h, con una longitud máxima de transporte de 50 a 150 m.

Aplicaciones: los transportadores de cadena en cubeta suelen usarse en depósitos y silos para cargar y descargar materiales pulverulentos y moderadamente grumosos sin propiedades de aglutinación. Como este tipo de transportadores son un sistema cerrado, se usan especialmente para grano, semillas, productos alimenticios y piensos, carbón, cemento, productos químicos y minerales.

Emisiones: si las áreas de alimentación y descarga están encerradas o revestidas, no se producen emisiones de polvo.

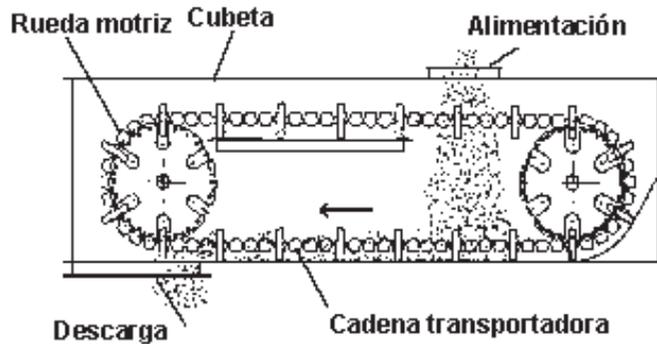


Figura 3.51: Esquema de un transportador de cadena en cubeta [17, UBA, 2001, 91, Meyer and Eickelpasch, 1999]

3.4.2.16.2. Transportadores de rasquetas

Descripción: un transportador de rasqueta es similar a un transportador de cadena en cubeta pero sin cubeta. El transporte se realiza mediante colectores unidos a cadenas, que empujan el material. La recogida y la descarga del material se pueden realizar en cualquier punto del transportador.

Aplicaciones: los transportadores de rasquetas se usan especialmente para alimentar y regenerar pilas de minerales, carbón y sales.

Emisiones: se emite polvo durante la recogida y el transporte del material. Los efectos debidos a la fricción entre el material y los muros y el fondo del transportador puede provocar una trituración del material. La formación de polvo a causa de este efecto se puede minimizar humedeciendo el material.

3.4.2.17. CINTAS TRANSPORTADORAS HELICOIDALES

Descripción: las cintas transportadoras helicoidales son transportadores de material a granel en los que el material se desplaza a lo largo de un canal o tubería mediante un tornillo sin fin rotatorio, horizontal o formando un ángulo de 30°. También es posible el movimiento vertical, pero necesita una construcción totalmente diferente del transportador. Con el movimiento horizontal el material se empuja a lo largo de la parte interior del canal; con el movimiento vertical el material se desplaza con el tornillo alrededor de la tubería.

Con los tornillos horizontales, el material se puede recoger y descargar en diversos puntos. Las aperturas de descarga se dirigen con paletas. Las cintas transportadoras helicoidales verticales tienen un punto de recogida de material bajo y un

punto de descarga superior. El grado máximo de llenado respecto a la sección transversal del tornillo es de un 40 % para transportadores helicoidales de canal y de hasta un 80 % para transportadores helicoidales de tubería.

El ritmo de transporte máximo de una cinta helicoidal vertical es de 1000 a 1200 t/h. Técnicamente se pueden conseguir ritmos mayores, pero resulta muy caro.

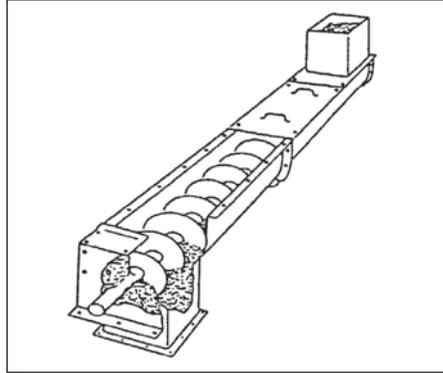


Figura 3.52: Esquema de una cinta transportadora helicoidal de cubeta [17, UBA, 2001] con referencias a la VDI 3971

Aplicaciones: las cintas transportadoras helicoidales son especialmente adecuadas para transportar materiales muy pulverulentos, como polvo de óxido de aluminio, cemento, grano, yeso, fertilizantes, carbón, caliza y fosfatos.

Estas cintas también son adecuadas para subproductos animales y pulpa de remolacha, a velocidades de hasta 900 toneladas por hora con diámetros de hasta 2 metros.

Las cintas transportadoras helicoidales se usan para el transporte de materiales, desde los que contienen partículas finas y pulverulentas a materiales grumosos, en distancias relativamente cortas (hasta 40 m). No son adecuadas para materiales abrasivos o que tienden a aglomerarse.

Estos dispositivos son compactos y, a causa del mecanismo de vaivén, pueden alcanzar zonas de difícil acceso en otras circunstancias, aunque no son adecuados para embarcaciones con trampillas pequeñas. Gracias a su versatilidad, las cintas transportadoras helicoidales se usan en muchos campos.

Emisiones: las cintas transportadoras verticales siempre son cerradas, mientras que las horizontales pueden ser abiertas o cerradas. En todos los casos se emite polvo en los puntos en que el material se recoge y se descarga, excepto si encierran los puntos de transferencia.

Efectos cruzados: el consumo de energía es relativamente alto debido a la gran potencia de accionamiento del tornillo.

Planta de referencia: Stadtwerke Flensburg; Port of Borugas Ltd., Bulgaria; Central energética de Kingsnorth, Reino Unido; Calibra S.A. Lisboa, Portugal.

3.4.2.18. TRANSPORTADORES DE AIRE A PRESIÓN

Descripción: los transportadores de aire a presión se usan básicamente para transporte sin polvo en sistemas cerrados. Su principio de funcionamiento es el mismo que el del transportador por aspiración de aire descrito en el apartado 3.4.2.5, excepto por el hecho que el compresor se halla en el inicio del sistema de descarga.

El material transportado se introduce en el sistema de tuberías transportadoras mediante un mecanismo de alimentación (puerta de ruedas alveolares, tornillo o tolva de alimentación) con efecto de inyección. El sistema funciona a sobrepresión. Los siguientes pasos del proceso son los mismos que para los transportadores por aspiración de aire (véase el apartado 3.4.2.5).

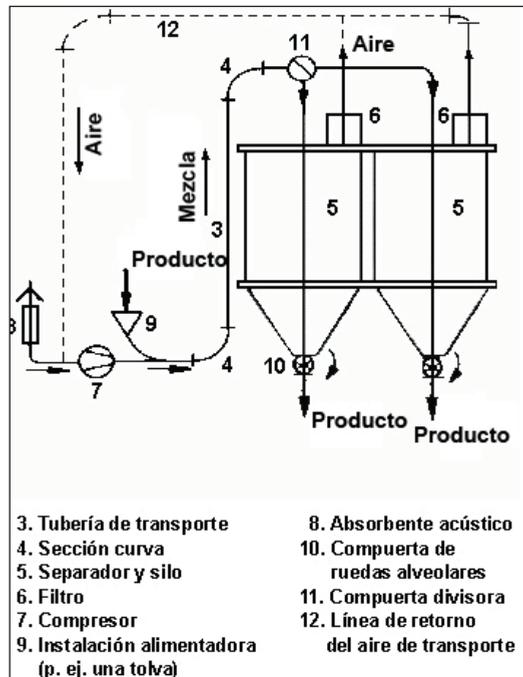


Figura 3.53: Principio de funcionamiento de un transportador de aire a presión [17, UBA, 2001] con referencias a Pfeifer, 1989

Aplicaciones: los transportadores de aire a presión son adecuados para materiales a granel cristalinos finamente particulados, como el cemento, la caliza o el yeso y se aplican, por ejemplo, en la descarga de camiones silo.

Emisiones: apenas se producen emisiones de polvo en el sistema de transporte cerrado, utilizando una línea de retroventilación. Los sistemas sin líneas de retroventilación y equipados con un sistema de filtrado presentan una baja emisión. La recogida de material puede ser el único proceso relevante para las emisiones de polvo.

Los transportadores de aire a presión, como todos los sistemas neumáticos, presentan un alto consumo energético.

3.4.2.19. ALIMENTADORES

Descripción: los puntos de alimentación y de descarga son los más significativos para la formación de polvo en sistemas de transporte continuos. Algunos alimentadores habituales son:

Alimentadores de cinta

Los alimentadores de cinta son tolvas rectangulares. El material a granel cae desde la unidad de almacenamiento sobre la tolva y en el sistema transportador que se halla a continuación. Estas tolvas están disponibles como sistemas cerrados, con sistemas opcionales de aspiración o aspersion.

Alimentadores de rodillo

Los alimentadores de rodillo son aperturas de depósitos o silos. El material se introduce sobre un rodillo rotatorio y éste lo transfiere a un sistema transportador situado a continuación. La velocidad de alimentación varía con la velocidad de giro del rodillo.

Alimentadores helicoidales

Los alimentadores helicoidales se corresponden con las cintas transportadoras helicoidales tradicionales. Gracias a la rotación del tornillo en una cubeta, el material se transporta de forma controlada desde una abertura de alimentación longitudinal hasta el transportador o la unidad de almacenamiento situada a continuación.

Repartidores de ruedas giratorias

Los repartidores de ruedas giratorias se usan para alimentar depósitos o silos. El material se desliza por una placa de superficie biselada de una ranura de descarga desde el sistema de almacenamiento. Un carro de descarga se mueve a lo largo de la abertura de la ranura y en él se halla instalada una rueda giratoria con cangilones, que retira el material de la salida y lo lleva a la instalación de transporte situada a continuación.

Alimentadores rotatorios

Los alimentadores rotatorios también se usan para alimentar el material en cintas transportadoras desde depósitos o silos. La descarga se realiza por celdas; estas celdas con tablillas en un eje rotatorio están encerradas en una especie de cilindro con aberturas en la parte superior y en la inferior, estancas con el silo o depósito y con el sistema de transporte a continuación.

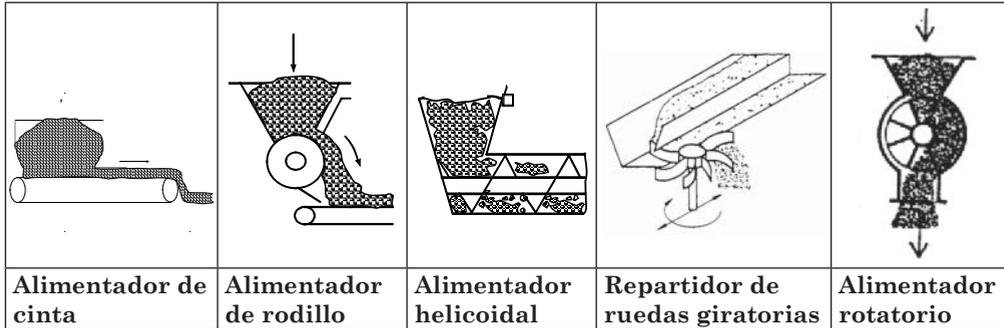


Figura 3.54: Tipos de alimentadores [91, Meyer and Eickelpasch, 1999] [17, UBA, 2001] con referencias a la DIN 15201 parte 2

Emisiones: se producen emisiones de polvo especialmente en los alimentadores que no están cerrados. Se puede producir sobrellenado si el sistema de alimentación no está adaptado correctamente al sistema de almacenamiento o de transporte, por ejemplo si la velocidad de alimentación es demasiado alta.

3.4.3. Transporte y manipulación de productos envasados

Véase el apartado 3.2.5 – Transporte y manipulación de productos.

4. Técnicas a considerar en la determinación de MTD

4.1. Almacenamiento de líquidos y gases licuados

En el capítulo 3 se han descrito la mayoría de sistemas de almacenamiento de líquidos y gases licuados y se han identificado y puntuado las posibles fuentes de emisión de cada tipo de almacenamiento. La puntuación de las fuentes de emisión es una forma simple y fiable de identificar las fuentes de emisión más importantes, aunque debe remarcar que las puntuaciones tienen un valor relativo y que sólo deben considerarse para cada modo de almacenamiento individualmente. Las fuentes con una puntuación de emisión igual o superior a 3 se comentan con mayor detalle en este capítulo 4.

Se han preparado marcadores de MCE (medidas de control de emisiones) para todos los modos de almacenamiento, que se muestran en el anexo 8.9 –Fichas operativas de MCE para el almacenamiento de líquidos y gas. Cada marcador proporciona información sobre MCE habituales para emisiones líquidas o gaseosas y residuos. Los marcadores también muestran la puntuación de emisión de cada fuente posible de emisión.

El anexo 8.9 evidencia que deben comentarse y valorarse MCE en emisiones operativas para catorce tipos de modos de almacenamiento. Este capítulo contiene una descripción general de las diversas MCE que se pueden aplicar a todos o a algunos de estos modos de almacenamiento. Cada una de las MCE comentadas se valora mediante (siempre que sea posible):

- descripción,
- beneficios ambientales obtenidos,
- información operativa,
- aplicabilidad,
- cuestiones de seguridad,
- energía, residuos y efectos cruzados,
- aspectos económicos.

4.1.1. Metodología de valoración de MCE para el almacenamiento de líquidos y gases licuados

Descripción: la TETSP (*Technical European Tank Storage Platform*, «Plataforma técnica europea de almacenamiento en tanques») ha definido una metodología práctica para valorar las MCE descritas en este capítulo y, así, definir qué MCE, o combinación de MCE, presentan el mejor rendimiento en el almacenamiento de

líquidos y gases licuados en una situación específica. Esta metodología se basa en los principios de un enfoque basado en riesgos para seleccionar y cualificar los puntos de emisión (véase el capítulo 3), seguido por una definición de la MCE. La TETSP ha desarrollado esta herramienta porque, bajo su punto de vista, queda claro en el BREF que casi todos los tanques son diferentes en aspectos de diseño, ubicación, producto almacenado, etc. y, por tanto, sería virtualmente imposible definir una MTD genérica para un determinado tipo de tanque.

Las MCE pueden hacer referencia a medidas técnicas, a medidas operativas o a medidas de gestión. Todas estas medidas no se centran sólo en técnicas a final de línea con sus costes y emisiones alcanzables, sino que también se ocupan de medidas como las buenas prácticas operativas, la formación adecuada y unos correctos procedimientos de mantenimiento.

La metodología se basa en una matriz de valoración, que se usa con información acerca de modos de almacenamiento específicos y sus principales fuentes de emisión. La matriz de valoración utiliza un sistema de puntuación para determinar las MCE con mejores resultados. Las puntuaciones hacen referencia a:

- El potencial de reducción de las emisiones o la «eficiencia del control de las emisiones» de la MCE considerada. El sistema de puntuación del potencial de reducción de las emisiones para la MCE dependerá del tanque de almacenamiento. Los factores de ponderación del potencial dependerán de las propiedades del producto almacenado, de factores específicos del emplazamiento (como la proximidad a zonas habitadas), etc. y deberán acordarse de buen principio entre el operador y la autoridad que concede las autorizaciones.
- Las «características operativas» de la MCE; por ejemplo, la facilidad de manipulación, la aplicabilidad, la seguridad y las cuestiones energéticas, de residuos y de efectos cruzados, tal como se comentan en este capítulo.
- Los aspectos económicos de la MCE; es decir, el coste de instalarla y de operarla.

En el anexo 8.12 se muestra, como ejemplo, la matriz de valoración para un tanque de techo flotante y en el anexo 8.11 se ofrece una explicación completa acerca de cómo rellenar la matriz de valoración.

Para cualificar las fuentes de emisión, se otorgan puntuaciones en función de la frecuencia y volumen de las emisiones desde un tipo de tanque determinado; éstas forman los marcadores de la MCE y se muestran en el anexo 8.9 para cada tipo de tanque considerado en este documento. Las puntuaciones sólo tienen valor relativo, ya que sólo indican diferencias en emisiones dentro de un mismo modo de almacenamiento; por ejemplo, una puntuación de 3 para un tanque de techo flotante externo no se puede comparar con un 3 para un tanque de techo fijo. Las medidas de control de emisiones relevantes (es decir, con una puntuación igual o superior a 3) se introducen en la matriz de valoración.

Los marcadores de MCE se establecen independientemente del producto almacenado. La razón es que al comparar fuentes de emisión a la atmósfera desde un tipo específico de tanque con el objetivo de definir las fuentes principales, el tipo de producto no influye en la clasificación relativa de las fuentes.

En el anexo 8.13 se incluyen ejemplos de las siguientes situaciones:

- 100 000 m³ de almacenamiento de petróleo crudo en un tanque de techo flotante externo; anexo 8.13.1;
- 10 000 m³ de almacenamiento de nafta (no gasolina) en un tanque de techo fijo y en dos condiciones de funcionamiento diferentes; anexo 8.13.2 y anexo 8.13.3.;
- 1000 m³ de almacenamiento de acrilonitrilo en un tanque de techo fijo; anexo 8.13.4;
- 100 m³ de almacenamiento de acrilonitrilo en un tanque de techo fijo; anexo 8.13.5.

Los estudios de casos tratan con un único tanque «autónomo» que almacena un producto. Sin embargo, a menudo sucede que diversos tanques se usarán para el mismo producto; en este caso una economía de escala en la implementación de una MCE puede empezar a dominar la evaluación de costes. Por ejemplo, la consideración de un único tanque puede mostrar que se consigue una MTD instalando un techo flotante interno, pero si se usan 10 tanques para el mismo producto entonces es posible que algún tipo de tratamiento de gases sea una medida más económica para conseguir la MTD.

El anexo 8.11, que se ocupa del uso de las matrices de valoración, indica que se trata de un enfoque iterativo hasta que la combinación de MCE que obtiene la mayor puntuación global cumple con las condiciones de MTD. Cuando ninguna combinación de MCE cumple los criterios de MTD, ni ninguna legislación local aplicable más estricta, deberá reiniciarse el proceso cambiando los datos básicos, por ejemplo reduciendo el inventario a almacenar o cambiando el modo de almacenamiento.

Aplicabilidad: en este BREF se ha desarrollado la metodología de la matriz de valoración de forma que pueda proporcionar una herramienta al organismo concesor de autorizaciones que le permita identificar las MCE que cumplen los criterios de MTD en cualquier caso concreto. Este es el uso más adecuado de la metodología, puesto que ya se conocerá el producto, así como las circunstancias específicas de la instalación.

Se prevé que otros grupos técnicos de trabajo puedan usar esta metodología para decidir lo que se considerará generalmente como MTD para actividades de almacenamiento en cualquier sector industrial concreto, aunque ello podrá variar hasta cierto punto al considerar las circunstancias específicas de cada instalación.

El método se puede usar para la valoración de las MCE en un tanque o en diversos tanques similares, y puede aplicarse a instalaciones de almacenamiento nuevas y ya existentes.

Sin embargo, diversos Estados miembros han planteado graves objeciones acerca del uso de este método en los procesos de autorización, y sus razones son:

- la metodología aún no se ha probado en procesos de autorización a nivel administrativo;
- la metodología podría ser demasiado compleja para los redactores de autorizaciones;
- con este enfoque, la decisión sobre MTD se desplazaría completamente hacia una conclusión a nivel local.
- los documentos BREF deben ofrecer una descripción clara de las MTD y, por tanto, se prefieren medidas específicas;
- no resulta claro cómo el método toma en consideración los tanques que emiten gases en una instalación.

4.1.2. MCE para tanques: aspectos generales

4.1.2.1. DISEÑO DEL TANQUE

Descripción: el diseño de una nueva instalación de almacenamiento o la modificación de una existente para una nueva sustancia o preparación es un proceso multietapa. Las etapas iniciales se dirigen a la consideración de todos los modos de almacenamiento y a eliminar aquellos que no son aceptables. Este proceso de eliminación se basa en un examen exhaustivo de las propiedades peligrosas y físicas importantes de la sustancia, el inventario de las sustancias a almacenar y los modos de funcionamiento del tanque.

En la siguiente etapa se analizan las MCE adecuadas para los modos de almacenamiento seleccionados para permitir la identificación de las técnicas disponibles con las que se puede alcanzar la MTD. Cuando ninguna combinación de MCE cumple los criterios de MTD, deberá reiniciarse el proceso cambiando los datos básicos, por ejemplo reduciendo el inventario a almacenar o cambiando el modo de almacenamiento.

Un diseño correcto debe considerar muchos factores, entre los cuales:

- las propiedades físico-químicas de la sustancia a almacenar;
- cómo se opera el almacenamiento, el grado de instrumentación necesario, cuántos operarios se necesitan y cuál será su carga de trabajo;
- cómo se informa a los operarios de desviaciones respecto a las condiciones normales de proceso (alarmas);

- cómo se protege el almacenamiento frente a desviaciones respecto a las condiciones normales de proceso (instrucciones de seguridad, sistemas de bloqueo, dispositivos de alivio de presión, detección de fugas y contención, etc.);
- qué equipo debe instalarse, básicamente teniendo en cuenta la experiencia anterior con el producto (materiales de construcción, calidad de las válvulas, tipos de bombas, etc.);
- qué planes de inspección y mantenimiento deben implementarse y cómo se facilitarán las tareas de mantenimiento e inspección (acceso, disposición, etc.);
- cómo se tratarán las situaciones de emergencia (distancia a otros tanques, instalaciones y a los límites del emplazamiento, protección contra incendios, acceso de servicios de emergencia, como bomberos, etc.).

En el anexo 8.19 se presenta una lista de comprobación práctica para el diseño de un tanque de almacenamiento de una planta química.

Bibliografía de referencia: [113, TETSP, 2001] [176, EIPPCB Ineke Jansen, 2004]

4.1.2.2. INSPECCIÓN, MANTENIMIENTO Y CONTROL

Según las regulaciones estatales existen diferentes enfoques para realizar tareas de inspección. Éstos se presentan a continuación:

Vigilancia oficial

Descripción: la vigilancia oficial está restringida, en principio, a actividades generales de control y se basa en:

- control interno de la empresa (por parte del operario);
- vigilancia adicional por parte de expertos autorizados oficialmente (terceros independientes).

El objetivo principal de la vigilancia oficial es garantizar que:

- el control de los operarios y la vigilancia de los expertos se realizan adecuadamente;
- se corrige cualquier deficiencia en estas actividades;
- se detecta rápidamente y con fiabilidad cualquier daño que no pueda evitarse a nivel interno de la empresa y que el operario informa inmediatamente a las personas implicadas, incluyendo las autoridades, y realiza las medidas de corrección.

De la misma forma, la vigilancia oficial implica básicamente las tareas siguientes:

- la evaluación de las instalaciones dentro del marco de las obligaciones legales de los operadores por lo que respecta a las autorizaciones y las notificaciones;
- el mantenimiento de un registro de la instalación, para el registro de instalaciones y para los informes de inspección enviados por expertos encargados;
- la estipulación y aplicación de las prestaciones que determinan el reconocimiento de los expertos;
- la estipulación de las referencias para control interno por parte del operador;
- la estipulación de las referencias básicas para la vigilancia por parte de expertos;
- la garantía de que cualquier deficiencia identificada por los expertos se corrige adecuadamente;
- la emisión de órdenes oficiales, si es necesario;
- comprobaciones aleatorias de las empresas, dentro del marco de las inspecciones oficiales realizadas según un programa concreto de inspección, con respecto a, entre otros aspectos, la gestión ambiental y un control correcto de las instalaciones por parte del operador;
- la estipulación de los requisitos esenciales para la información y gestión de incidentes o accidentes que pueden causar daños.

Vigilancia por expertos

Descripción: la vigilancia por parte de expertos reconocidos oficialmente suele ofrecer una inspección independiente de alta calidad y es una actividad técnica de control detallada, basada en:

- las investigaciones y comprobaciones de los propios expertos;
- las evidencias y la documentación proporcionada por los operadores, las autoridades y otros organismos competentes;
- medidas para garantizar la calidad de las actividades de los expertos;
- las estipulaciones elaboradas por las autoridades.

El objetivo principal es garantizar que:

- la instalación y sus componentes se han fabricado y construido de forma correcta;
- la instalación y sus componentes permanecen en buen estado;
- se identifican las posibles deficiencias.

De la misma forma, la vigilancia por expertos implica básicamente las tareas siguientes:

- una valoración inicial de la conformidad de la instalación y sus componentes;
- una valoración de la conformidad de las tareas de construcción realizadas;
- una valoración repetida regularmente de la conformidad de la instalación y sus componentes según las estipulaciones de las autoridades;

- una valoración de las posibles medidas de reparación;
- una valoración de las medidas organizativas realizadas por el operador.

La valoración de la conformidad de la instalación y de sus componentes se amplía, especialmente, a aquellas partes que están en contacto directo con el material almacenado (p. ej. contenedores, tuberías, accesorios, elementos de estanqueidad, bombas) así como a los dispositivos de seguridad (indicadores de fugas, dispositivos de prevención de sobrellenado, áreas de contención) y medidas técnicas de precaución (p. ej. superficies estancas en el caso de operaciones de llenado).

Control interno de la empresa (control por parte del operador)

Descripción: para cumplir con la responsabilidad del operador, el control por parte de éste es la forma de vigilancia de instalaciones de almacenamiento más intensiva técnicamente y que necesita más tiempo. La vigilancia por expertos y la vigilancia oficial son complementarias.

El control por parte del operador se basa en:

- el diseño, disposición y valoración de las instalaciones implicadas;
- un registro actualizado de las instalaciones;
- unas instrucciones de funcionamiento y unas reglas de comprobación actualizadas, que contengan advertencias de servicio, alarmas y planes de acción, así como las medidas auxiliares adecuadas para incidentes o accidentes que puedan causar daños.

El objetivo principal del control por parte del operador es garantizar que:

- las instalaciones son seguras en cualquier momento y cumplen con los requisitos aplicables;
- las irregularidades y alteraciones se detectan con prontitud y de forma fiable;
- se detectan con rapidez y fiabilidad los vertidos de materiales peligrosos y se emprenden medidas efectivas si se produce cualquier tipo de daño que no se haya podido evitar, de forma que no existan razones para suponer ningún tipo de efecto negativo sobre el medio ambiente.

De la misma forma, el control por parte del operador puede implicar las tareas siguientes:

- registro de las instalaciones en un registro de instalaciones actualizado caso por caso;
- realización de una comprobación de seguridad inicial, si aún no se ha llevado a cabo, y, aún más importante, identificación de los componentes de la instalación que puedan representar un riesgo determinado (análisis de puntos débiles) como uniones, bombas, accesorios y dispositivos de llenado y vaciado;

- elaboración y actualización de instrucciones de funcionamiento, planes de comprobación y programas de medición para la vigilancia continua y el mantenimiento, teniendo en cuenta los resultados del análisis de puntos débiles;
- implementación del control por parte del operador según un calendario;
- documentación de los resultados;
- información a las autoridades cuando sea necesario;
- registro y documentación continua de derogaciones de la operación de la instalación, según su propósito;
- corrección inmediata de las deficiencias identificadas;
- contratación adicional de expertos reconocidos oficialmente dentro de los plazos prescritos, siempre que así lo exijan las autoridades;
- información inmediata a todas las partes implicadas, incluyendo las autoridades, en caso de producirse cualquier daño, e implementación de las medidas correctoras necesarias.

4.1.2.2.1. *Mantenimiento basado en fiabilidad y riesgos (MBFR)*

La aplicación de herramientas basadas en el riesgo para la optimización de las actividades de mantenimiento e inspección sigue la tendencia de la industria mundial en pasar de un enfoque de mantenimiento basado en el tiempo a un enfoque de mantenimiento basado en el estado. Ya se ha demostrado que estas herramientas basadas en riesgos funcionan para equipos de refinería fijos, como las instalaciones, intercambiadores de calor, recipientes a presión, tuberías, etc. Recientemente se ha reconocido que estas herramientas basadas en riesgos también son aplicables a un enfoque de mantenimiento total para los tanques de almacenamiento convencionales.

La revisión de 2003 de la EEMUA 159 (véase la referencia [166, EEMUA, 2003]) contiene información detallada acerca de cómo usar el enfoque MBFR y su metodología subyacente dentro de la filosofía global de mantenimiento de tanques. El enfoque MBFR, tal como se describe en este apartado, es una herramienta para determinar planes de mantenimiento proactivos y para desarrollar planes de inspección basados en riesgos. Se basa en dos metodologías ya existentes: la inspección basada en riesgos (IBR) y el mantenimiento centrado en la fiabilidad (MCF).

El sistema de inspección puede contener los siguientes aspectos:

- registros de datos de los tanques;
- análisis del rendimiento del tanque (debe determinarse la probabilidad de un fallo del tanque y sus consecuencias y realizarse una valoración de riesgos, de forma que la frecuencia de inspección se adecue a los riesgos);
- planificación;
- programa de responsabilidades;

- ejecución;
- revisión.

La inspección de tanques de almacenamiento de amoníaco totalmente refrigerados es un compromiso entre la necesidad de conocer las condiciones del tanque y los efectos negativos de abrir el tanque para su inspección, que provocarán esfuerzos térmicos y la entrada de oxígeno. En consecuencia, la necesidad de la inspección y el método, tipo y objetivo de la inspección deben evaluarse en función del riesgo y las consecuencias de un fallo. La aplicación de una IBR implica que pueden considerarse estos factores y que se puede establecer un programa de inspección para cada tanque individual. La IBR es un elemento de la estrategia de inspección global para cada tanque particular y la aplicación de la IBR en un tanque de amoníaco requiere una evaluación de los aspectos siguientes:

Probabilidad de fallos

- experiencia de funcionamiento,
- esfuerzos adicionales, internos y externos (asentamiento, nieve, etc.),
- propiedades de rotura anterior a la fuga,
- conexiones de tuberías,
- agrietamiento por tensocorrosión,
- otros fenómenos de degradación de los materiales,
- propiedades de la placa de material y las soldaduras,
- control previo a la puesta en funcionamiento,
- reparaciones,
- procedimientos de puesta en funcionamiento y rearranque (purgado inerte, velocidad de enfriamiento).

Consecuencias de un fallo

- tanque de muro simple frente a tanque de muro doble,
- seguridad externa adicional (dique o bancale),
- ubicación del tanque.

El endurecimiento por granallado y la protección catódica se consideran tecnologías no demostradas para tanques de amoníaco a baja temperatura y, por tanto, no se incluyen en la evaluación de IBR.

4.1.2.2.2. Inspecciones en servicio y fuera de servicio

Las inspecciones se pueden categorizar en inspecciones regulares en servicio o como inspecciones regulares fuera de servicio. Una inspección en servicio puede ser simplemente un recorrido regular alrededor del tanque con una lista de comproba-

ción (véase Códigos Internaciones, p. ej. API RP 575, Apéndice C). Una inspección fuera de servicio es una inspección detallada de toda la estructura del tanque usando una lista de comprobación estándar (véase Códigos Internaciones, p. ej. API RP 575, Apéndice C). (EEMUA n.º 183, 1999) y se comenta a continuación.

Es habitual considerar una jerarquía de inspecciones con varios niveles de detalle, por ejemplo:

- inspecciones rutinarias,
- inspecciones externas en servicio,
- inspecciones internas fuera de servicio.

Durante cualquier tipo de inspección, se da una atención especial a las áreas en que las tareas de almacenamiento o el tipo de construcción del tanque pueden incrementar cualquier riesgo de fugas. Por ejemplo, se comprueba la entrada de humedad en el revestimiento de los tanques aislados, que podría incrementar la posibilidad de corrosión del tanque.

Inspecciones rutinarias

Descripción: el personal de servicio realiza frecuentes visitas a los tanques bajo su control. Deben estar alerta ante cualquier signo de deterioro o alteración del tanque o de su entorno, especialmente por lo que respecta a fugas o indicaciones de sobrepresión o subpresión y averías de los equipos auxiliares, como desagües o escaleras. Normalmente, se dispone de un sistema para que el operario registre estas observaciones y para trasladarlas al ingeniero correspondiente para su posterior evaluación.

Unas observaciones frecuentes suelen detectar cambios rápidos de estado, pero tienden a pasar por alto cambios más lentos y a no darse cuenta de un estado que se ha convertido en práctica aceptada. Es más probable observar los efectos de condiciones que cambian lentamente durante una inspección especializada.

Inspecciones en servicio

Descripción: Una inspección en servicio de un tanque consiste básicamente en una revisión de la historia operativa y de inspecciones del tanque, seguida de un recorrido alrededor del bancal del tanque y luego del recubrimiento del tanque antes de subir las escaleras del tanque para observar el techo. Las inspecciones suele organizarlas y dirigir las el ingeniero de inspección de la instalación, pero vale la pena que también esté implicado personal de los grupos de operaciones y de mantenimiento.

Durante la inspección en servicio, se examinan el tanque y los equipos auxiliares para detectar signos de deterioro o alteración desde la inspección anterior. Estas inspecciones identifican problemas potenciales antes de que puedan convertirse en graves e identifican las tareas de mantenimiento que, si se realizan pronto, eliminarían la necesidad de tareas más importantes con posterioridad. La inspección también intenta detectar elementos de seguridad defectuosos, como orificios de venteo bloqueados, escaleras defectuosas o roturas en los bancales. Con una correcta inspección, se observa cualquier fuga de la estructura del tanque o de su parte inferior y se evalúa su importancia. Se pueden observar y anotar los cambios en el estado de la pintura.

La inspección también suele incluir un examen del bancal y de todos los equipos del tanque en revisión, así como de la estructura básica del tanque, todas las tuberías de conexión, bombas y válvulas, etc. Para evitar accidentes, debe demostrarse que los medios de acceso al tanque son seguros. Debe observarse el techo del tanque, incluyendo los elementos de sellado, desagües, dispositivos de presión o vacío, escalerillas, etc. También debe valorarse el estado de los recubrimientos del techo y la estructura.

En muchos sitios debe inspeccionarse un gran número de tanques; en estos casos la tarea es rutinaria y puede devenir tediosa. Para reducir los problemas que de ello pudieran derivarse, se recomienda que las inspecciones en servicio sigan una lista de comprobación, de manera que se garantice que se observan todas las características relevantes. En la publicación EEMUA 159 se puede encontrar una lista de comprobación posible, con explicaciones.

En función del estado visual del tanque y de su historia de inspecciones, la inspección rutinaria se puede ampliar para incluir mediciones de grosor por ultrasonidos y un examen del fondo del tanque por emisión acústica. Ambas técnicas se pueden aplicar a un tanque en servicio si se toman las precauciones adecuadas.

También se puede realizar una medición de las tuberías auxiliares. Se pueden hacer comprobaciones en los sistemas de protección catódica. Es práctica habitual disponer de una confirmación por escrito de que se han comprobado todos los instrumentos asociados al tanque y funcionan como es necesario.

Se dispone de algunas técnicas de inspección para inspecciones internas desde el exterior, como las mediciones por emisión acústica y por ultrasonidos de largo alcance en placas anulares (LORUS). Sin embargo, estas técnicas no especifican el grosor real de las placas inferiores, pero se pueden usar para priorizar tanques de todo un grupo que contenga el mismo producto.

Para el almacenamiento a baja temperatura (amoníaco) se puede aplicar a $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$ la técnica de inspección no intrusiva usada para inspección interna para comprobar la fisuración por tensorcorrosión.

Inspecciones internas fuera de servicio

Descripción: una inspección fuera de servicio es el medio principal para confirmar si el tanque es adecuado para estar en servicio durante un período de tiempo previsto. Evalúa el estado del tanque y de los sistemas auxiliares, midiendo su rendimiento bajo el servicio que ha realizado desde la anterior inspección importante fuera de servicio e identifica las tareas necesarias para restablecer el buen estado del tanque. Confirma que es seguro para volver al servicio y predice el tiempo que puede permanecer en servicio antes de que sea necesario un nuevo paro importante.

Un paro importante, cuando se aísla el tanque, se libera el gas y se limpia el tanque para su inspección y mantenimiento, es una tarea significativa para una instalación y debe programarse cuidadosamente para evitar una interrupción indebida de las operaciones y unos gastos innecesarios. La publicación EEMUA 159 describe un enfoque basado en riesgos para el desarrollo de planes de inspección. El intervalo entre inspecciones de un tanque determinado cualquiera suele tener en cuenta:

- regulaciones vinculantes relevantes,
- experiencia empresarial e industrial sobre el tipo de tanque,
- condiciones de funcionamiento del tanque,
- historia de inspecciones y de funcionamiento del tanque.

Cuando el tanque se abre, se libera el gas y se limpia, se puede acceder a su interior e inspeccionar la estructura, el techo, el suelo y los desagües internos, etc. La observación interior de la estructura y del techo ofrece una mejor oportunidad para detectar deterioros locales que durante un examen externo. Se presta una gran atención a detectar pequeñas zonas de corrosión profunda o corrosión por picaduras de la estructura, especialmente si es en forma de surcos verticales o bien podría ampliarse posteriormente para convertirse en un surco.

El único momento en que puede examinarse físicamente el suelo del tanque es cuando éste está vacío y limpio. Una exploración visual se puede reforzar mediante un escaneo del suelo, a través de la técnica de dispersión de flujo magnético o con un dispositivo de ultrasonidos. Ambos proporcionarán información acerca de la parte inferior del suelo. La práctica antiguamente habitual de cortar placas del suelo para valorar el estado de la parte inferior del suelo, ya no es practicada por muchas empresas; se considera que las nuevas herramientas de inspección han hecho que esa técnica sea obsoleta y presente un riesgo innecesario.

Una exploración visual puede confirmar la validez de cualquier diagnóstico realizado a partir de una exploración por emisión acústica. Las observaciones realizadas y las conclusiones obtenidas durante una inspección fuera de servicio

suelen registrarse con precisión en un historial particular del tanque. Este registro proporcionará buena parte de la información necesaria para determinar el tiempo de servicio, gracias a los principios de MBF, que define la siguiente inspección importante.

Facilidad de manipulación: los tipos de inspección se asocian directamente con los tipos de almacenamiento. Las inspecciones externas de la estructura no presentan dificultad alguna. Las inspecciones de la parte inferior en el almacenamiento vertical suelen realizarse con un tanque fuera de servicio y sólo de la parte superior. En la EEMUA 159/183 etc. se presentan los tipos de inspección.

Aplicabilidad: el principio de inspección/mantenimiento es aplicable a todo tipo de almacenamiento.

Cuestiones de seguridad: dependen del tipo de producto, modo de almacenamiento y tipo de tareas de inspección y mantenimiento. El acceso a la parte superior, a la parte inferior y al interior de los techos flotantes debe estar estrictamente controlado y deben tomarse medidas de seguridad adicionales para evitar posibles accidentes.

Energía/residuos/efectos cruzados: se generan residuos al drenar, limpiar y granallar el tanque. En los tanques de almacenamiento de amoníaco líquido totalmente refrigerados se sabe que la apertura de los tanques para su inspección puede incrementar el potencial de fisuración por tensocorrosión.

Aspectos económicos: los costes implicados son de medios a elevados, con unas pocas excepciones (como la exploración visual).

Bibliografía de referencia: [86, EEMUA, 1999] [175, TWG, 2003]

4.1.2.2.3. *Control*

Descripción: otro aspecto habitual de las inspecciones es el control de las emisiones difusas a la atmósfera y el control de fugas. El control de fugas se describe en el apartado 4.1.6.1.7.

Las emisiones a la atmósfera de tanques de almacenamiento y de operaciones de carga y descarga suelen calcularse basándose en factores de emisión generales. Los métodos de cálculo están publicados por API, US EPA y CEFIC/EVCM (*European Council of Vinyl Manufacturers*, «Consejo europeo de fabricantes de vinilo»). Para medir las emisiones a la atmósfera se puede aplicar la técnica DIAL (láser para absorción infrarroja diferencial).

El DIAL se usa habitualmente en Suecia para supervisar emisiones de COV de tanques que almacenan hidrocarburos en refinerías y terminales petroleras. Los resultados en Suecia han mostrado que las emisiones calculadas subestiman considerablemente los valores de emisión medidos, en un factor de 2 a 5. Sin embargo, la referencia [16, Concauwe, 1995] afirma que las diferencias entre los cálculos y las mediciones se hallan dentro del 10 %.

Aplicabilidad: habitualmente se aplican los métodos de cálculo. El DIAL no suele aplicarse, ya que en Europa hay pocas instalaciones DIAL capaces de detectar un amplio espectro de hidrocarburos.

Aspectos económicos: los métodos de cálculo tienen un coste bajo. El DIAL es una opción de coste elevado (aproximadamente 100 000 EUR/semana) a causa de su complejidad.

Bibliografía de referencia: [16, Concauwe, 1995] [178, Länsstyrelsen Västra Götaland, 2003] [158, EIPPCB, 2002]

4.1.2.2.4. *Técnicas de detección de gases*

Descripción: además de las técnicas de inspección generales, existen algunas técnicas de detección específicas para fugas de gases, como los sistemas de detección de gases (ya sea manualmente mediante detectores manuales de gases, como tubos Drager, o automáticamente). Los sistemas de detección de gas no son un medio de prevención de fugas, sino una técnica de seguridad.

Los sistemas de detección de fugas líquidas se describen detalladamente en el apartado 4.1.6.17.

Facilidad de manipulación: el principio de control es aplicable a todos los tanques de almacenamiento.

Aplicabilidad: el principio de control es aplicable a todos los tipos de almacenamiento.

Cuestiones de seguridad: depende del tipo de producto, modo de almacenamiento y tipo de inspección.

Energía/residuos/efectos cruzados: no se han descrito.

Aspectos económicos: en función de la técnica, los costes de control pueden variar mucho. Una exploración visual y el uso de detectores manuales de gases es un ejemplo en el extremo inferior de la escala.

4.1.2.3. UBICACIÓN Y DISPOSICIÓN

Descripción: la ubicación y disposición de una instalación de almacenamiento debe escogerse con cuidado. Los tanques pueden situarse en superficie, subterráneos o en taludes. Cada ubicación tiene diferentes ventajas e inconvenientes. El almacenamiento a nivel del suelo, al aire libre, tiene ventajas porque las fugas se detectan y se contienen más fácilmente y cualquier gas que se haya generado se disipará por ventilación natural. Las exploraciones, modificaciones y reparaciones también son más sencillas y la corrosión se puede identificar y controlar con mayor facilidad. Sin embargo, los tanques subterráneos o en taludes proporcionan una mayor protección contra incendios, ahorran espacio y presentan menores emisiones por respiración.

En el caso de tanques que contienen líquidos inflamables o gases licuados es importante que estén situados en un lugar bien ventilado, alejados de los límites del emplazamiento, de edificios ocupados, de fuentes de ignición, de actividades de carga y descarga y de áreas de procesamiento. Por cuestiones de seguridad, la disposición de los tanques siempre debe tener en cuenta la accesibilidad necesaria para los servicios de emergencia.

La separación es un modo importante para proporcionar protección en tanques que contienen líquidos inflamables o gases licuados. La separación ofrece ventajas particulares, ya que no sólo protege a las personas y a la propiedad de los efectos de un incendio en el tanque, pero también protege el tanque de incendios que se hayan producido en algún otro lugar del emplazamiento. En el anexo 8.18 – Ejemplos de las distancias aplicadas al almacenamiento de líquidos inflamables en tanques, se muestran ejemplos aplicados en los Países Bajos y en el Reino Unido.

Bajo ciertas circunstancias puede ser necesario aumentar las distancias de separación o proporcionar protección adicional contra incendios. Estas circunstancias pueden ser:

- existen problemas con el suministro local de agua para incendios,
- el emplazamiento está alejado de cualquier ayuda externa,
- el tanque se halla cerca de un área densamente poblada.

En el almacenamiento de cloro líquido (a presión o a baja presión) en un tanque de superficie, se informa de una distancia de seguridad de 25 m respecto a vías públicas o líneas ferroviarias principales, para eliminar el riesgo de daños al almacenamiento en caso de accidente. La distancia respecto a los límites de la instalación es de 10 m y se necesita una distancia suficiente entre tanques adyacentes para proporcionar un buen acceso a los depósitos.

En el Reino Unido, la distancia de separación mínima recomendada de cualquier tanque subterráneo a cualquier edificio es, por lo menos, 2 m para evitar afectar

a los cimientos del edificio, y se considera recomendable aumentar esta distancia hasta 6 m para un sótano o pozo, para minimizar el riesgo de acumulación de gases. En los Países Bajos se considera que una distancia de 0,75 m de un tanque a un edificio es suficiente, y la distancia recomendada entre dos tanques subterráneos es, por lo menos, 1/3 del diámetro del tanque mayor. Este ejemplo muestra los diferentes enfoques que existen en los Estados miembros.

Bibliografía de referencia: [18, UBA, 1999] [37, HSE, 1998] [1, CPR, 1993, 37, HSE, 1998] [50, EuroChlor, 1993, 51, EuroChlor, 1996]

4.1.3. MCE para tanques – operativas – emisiones gaseosas

4.1.3.1 PRINCIPIO DE MINIMIZACIÓN DE EMISIONES PARA ALMACENAMIENTO EN TANQUES

Descripción: el principio de minimización de emisiones para almacenamiento en tanques consiste en que, dentro de un determinado intervalo temporal, se reducirán todas las emisiones del tanque de almacenamiento y los sistemas de transporte y manipulación antes de que se emitan. Ello incluye las siguientes emisiones procedentes de las actividades normales y de incidentes:

- emisiones a la atmósfera,
- emisiones al suelo,
- emisiones al agua,
- consumo de energía,
- residuos.

Beneficios ambientales obtenidos: las emisiones operativas no reducidas de los tanques y de los sistemas de transporte y manipulación son despreciables. Sin embargo, las emisiones no reducidas de incidentes y accidentes importantes pueden seguir produciéndose.

Facilidad de manipulación: para el suelo, el objetivo es que se evite toda nueva contaminación y que la existente no plantee riesgo alguno al medio ambiente. La contaminación existente debe controlarse o eliminarse para evitar su posterior dispersión. Para evitar emisiones, debe aplicarse medidas organizativas y medidas técnicas adecuadas a los tanques con un riesgo potencial de nueva contaminación al suelo.

Para el agua, el objetivo es no verter aguas residuales sin tratar y disminuir el uso de agua. La prevención tiene preferencia sobre el tratamiento posterior, y puede conseguirse mediante:

- medidas técnicas que eviten la formación de aguas residuales;
- medidas organizativas, formación del personal, implementación de un sistema de gestión ambiental;

- medidas adicionales para sustancias problemáticas;
- la suficiente capacidad de almacenamiento para el agua de extinción de incendios contaminada.

Para los residuos, el objetivo es en primer lugar evitar la formación de residuos y, en caso de que se produzcan, reciclarlos o reusarlos. Esto se puede conseguir con medidas organizativas y la optimización del programa de mantenimiento. Entre las medidas técnicas se encuentran, por ejemplo, una eliminación eficiente y un granallado de los tanques.

Para la energía, el objetivo es reducir el uso de energía. Las posibles medidas son el uso de equipos de bajo consumo, la reutilización del calor residual, la compartición de equipos y la formación adecuada del personal. Sin embargo, el uso de instalaciones de tratamiento de las aguas residuales o de sistemas de recuperación de vapor puede incrementar el uso de energía.

En el caso de medidas que se pueden aplicar para evitar o reducir las emisiones a la atmósfera, las consideraciones de seguridad pueden imponer restricciones sobre las posibles reducciones en las emisiones.

Aplicabilidad: el principio de minimización de emisiones para almacenamiento en tanques se ha desarrollado para terminales de tanques, pero también es aplicable para el almacenamiento en tanques en general.

Energía/residuos/efectos cruzados: se han considerado todos los medios.

Aspectos económicos: dependen en gran medida de las medidas de prevención y reducción aplicadas actualmente.

Bibliografía de referencia: [159, DCMR/VOPAK, 2000]

4.1.3.2. CUBIERTAS FLOTANTES

Descripción: las cubiertas flotantes se usan en tanques de techo abierto, estanques y balsas para evitar la emisión de vapores y, especialmente, de olores a la atmósfera. Los tipos de cubiertas que suelen instalarse en tanques verticales de techo fijo se describen en el apartado 4.1.3.10.

Para tanques de techo abierto se dispone de diversos tipos de cubiertas, como:

- grava ligera,
- paja,
- turba,

- aceite de colza,
- gránulos de plástico,
- capas y láminas.

Facilidad de manipulación: su inspección por la parte inferior puede presentar dificultades. El mantenimiento durante el funcionamiento no suele ser posible.

Aplicabilidad: aunque los resultados del uso de cubiertas flotantes son muy variables, en general se consideran lo bastante buenos como para que su aplicación en tanques de fangos sea una opción atractiva. Se comunicaron las siguientes observaciones a partir de pruebas:

Aceite de colza

El aceite de colza (o derivados con un gran porcentaje de aceite de colza) es muy fácil de aplicar y no se mezcla fácilmente con el fango. Sin embargo, es biodegradable, pierde integridad superficial con el tiempo y aumenta considerablemente las emisiones de metano. El material que flota con facilidad y no debe añadirse cada año tiene el inconveniente de que se lo puede llevar el viento y puede hacer necesaria la presencia de una cubierta adicional. Los minerales de muy baja densidad absorben agua, se los lleva fácilmente el viento o son pulverulentos y de uso desagradable. Un ejemplo es el poliestireno expandido (EPS).

Agregado de arcilla expandida ligera (LECA)

El LECA es adecuado para tanques y balsas. Los gránulos de LECA son más pesados que los de EPS. Se ha comunicado que tiende a hundirse hacia el fondo del almacenamiento y debe añadirse nuevamente, pero otras fuentes no informan de tal comportamiento. A causa de su mayor densidad, el LECA no se expande formando toda una capa flotante sobre la superficie del fango; conseguir que el LECA se sitúe correctamente y se distribuya uniformemente puede resultar difícil en tanques y balsas grandes, y puede conseguirse mezclándolo con agua o purines y bombeándolo sobre la superficie.

La turba se mezcla con el fango durante el agitado, se satura y debe renovarse tras cada agitado. Sin embargo, la turba es un producto natural y no crea problemas de residuos.

El desagüe de llenado debe estar muy cerca del fondo del tanque para evitar su obturación.

Cuestiones de seguridad: existe un riesgo potencial de acumular grandes concentraciones de gases peligrosos y nocivos justo por debajo de la superficie.

Energía/residuos/efectos cruzados: el objetivo principal de cubrir los purines es la reducción del olor, pero al mismo tiempo se reduce la evaporación de amoníaco.

Otros efectos debidos a la reacción entre una cubierta flotante y los purines pueden incrementar las emisiones de metano (en un 60 % en el caso del aceite de colza). En el caso del aceite de colza las reacciones anaeróbicas pueden generar superficies con un olor fuerte y rancio.

Aspectos económicos: se trata de una opción de coste bajo-medio. Se comunica que los costes de láminas flotantes en tanques de techo abierto con diámetros de 15 a 30 m se hallan entre los 15 y los 36 EUR/m² (para el año 1999). Los costes del LECA son de 225 a 375 EUR por tonelada (para el año 1999). No se han comunicado los costes de otras cubiertas flotantes.

Bibliografía de referencia: [119, EIPPCB, 2001] [113, TETSP, 2001]

4.1.3.3. CUBIERTAS FLEXIBLES O TOLDOS

Descripción: los tanques de techo abierto se pueden cubrir con cubiertas flexibles o toldos con un poste central de soporte y radios que se extienden desde el centro. Sobre los radios se extiende una tela y se une a un puntal en el borde; éste es una tubería circular situada en el exterior, alrededor de la circunferencia justo por debajo del techo del almacenamiento. La cubierta se tensa mediante correas verticales, uniformemente espaciadas, entre el puntal y el borde de la tienda.

El poste y los radios están diseñados para soportar el viento y el peso de la nieve. Se instalan orificios de venteo para liberar gases que se acumulan bajo la cubierta y se le practica una abertura para una tubería de entrada y una trampilla que puede abrirse para inspeccionar el contenido.

Beneficios ambientales obtenidos: para cubrir un tanque de purines se ha informado de reducciones en las emisiones de amoníaco de un 80 – 90 %.

Facilidad de manipulación: los toldos se pueden instalar en almacenes de hormigón ya existentes con diámetros inferiores a 30 m sin modificaciones, pero se recomienda un estudio técnico previo.

Con el almacenamiento de purines, el desarrollo de H₂S puede provocar corrosión que afecte a la construcción.

Aplicabilidad: según un estudio del Reino Unido en granjas, los toldos parecen poderse aplicar a un 50 – 70 % de los almacenes de acero existentes con modificaciones mínimas, si éstas consisten en la instalación de una tira angular de refuerzo alrededor del borde del tanque. Es importante calcular la resistencia necesaria de la construcción para soportar el viento y el peso de la nieve, tanto para el tanque

como para el tanque con la cubierta. Cuanto mayor sea el diámetro, más difícil será la aplicación, ya que la cubierta debe estar tensada de forma uniforme en todas las direcciones para evitar cargas desiguales.

Cuestiones de seguridad: se puede producir un desarrollo de gases tóxicos. Pueden no tener relevancia ambiental, pero deben tenerse en cuenta por cuestiones de seguridad.

Energía/residuos/efectos cruzados: el desarrollo de gases bajo cubiertas cerradas (de plástico) es habitual, de ahí la necesidad de orificios de venteo. Los gases se pueden usar en una instalación de biogás, pero la eficiencia y los aspectos económicos dependen en gran medida de factores como la producción diaria de gas, de la distancia a la instalación de biogás y del uso.

Aspectos económicos: se ha informado de que el coste de toldos para tanques con diámetros de 15 a 30 m se sitúa entre los 54 y los 180 EUR/m² (1999).

Granjas de referencia en la UE: se ha informado de solicitudes en el Reino Unido.

Bibliografía de referencia: [119, EIPPCB, 2001]

4.1.3.4. CUBIERTAS FIJAS O RÍGIDAS

Descripción: las cubiertas rígidas son cubiertas de hormigón o paneles de fibra de vidrio de forma plana o cónica. Cubren completamente la superficie del producto y evitan la entrada de agua de lluvia y nieve. Si la cubierta es de un material más ligero, la envergadura puede ser mayor que para cubiertas de hormigón, superando los 25 m y puede disponer de un soporte central. El uso de cubiertas rígidas permite recoger y tratar las emisiones; véase el apartado 4.1.3.15.

Beneficios ambientales obtenidos: en el almacenamiento de purines, el efecto de las emisiones no está claro. La dilución de los purines se produce en pozos de purines no cubiertos ya que el agua de lluvia hace disminuir la concentración de materia sólida y de nutrientes. Se ha informado que las diferencias en la concentración de nitrógeno en tanques cubiertos y descubiertos es pequeña y, en consecuencia, hay dudas acerca de si un techo sólido afectaría a la evaporación de amoníaco. Se han comunicado reducciones en las emisiones de un 95 – 98 %.

Facilidad de manipulación: es más habitual cubrir tanques pequeños que tanques grandes.

Aplicabilidad: las cubiertas rígidas suelen instalarse al mismo tiempo que el almacén. Adaptarlas en instalaciones ya existentes resulta caro. La vida mínima de estas cubiertas es de 20 años.

Energía/residuos/efectos cruzados: se puede producir un desarrollo de gases tóxicos. Pueden no tener una relevancia ambiental inmediata, pero deben tenerse en cuenta por cuestiones de seguridad.

Aspectos económicos: en un estudio de granjas en el Reino Unido se especificaron costes. Para tanques de hormigón de diámetros de 15 a 30 m que almacenan purines, el coste es de 150 a 225 EUR/m² (para el año 1999). Para cubiertas rígidas de plástico reforzado con fibra de vidrio (GRP) los costes se hallan entre los 145 y los 185 EUR/m² (para el año 1999).

Bibliografía de referencia: [119, EIPPCB, 2001]

4.1.3.5. CÚPULAS

Descripción: Reequipar un tanque de techo flotante externo con un techo fijo o abovedado reducirá las emisiones a la atmósfera. Las típicas estructuras de techo abovedado (geodésico) de aluminio, introducidas a mediados de la década de 1979 como cubiertas de protección frente a las condiciones meteorológicas en instalaciones de tratamiento de aguas, actualmente se usan en algunos tanques de almacenamiento de la industria petroquímica. Además de evitar la acumulación de nieve sobre los techos flotantes, se vio que las cúpulas también presentan ventajas para evitar la acumulación del agua de lluvia. Otro resultado importante es la eliminación del viento en la parte superior del techo flotante.

Las cúpulas geodésicas de aluminio están disponibles generalmente en diámetros de 6 m hasta 80 m. Normalmente la cúpula está formada por vigas en doble T y paneles de aluminio prefabricados. Las vigas se unen o se empernan, formando espacios triangulares que se cierran con paneles de aluminio precortado sujetos con abrazaderas en la parte superior de las vigas. Las cúpulas se pueden prefabricar dentro del tanque y alzarse hasta su posición o bien montarse en el exterior del tanque y alzarse con una grúa. Sin embargo, entonces el diámetro o tamaño de la cúpula está limitado por la capacidad de las grúas disponibles. La estructura de la cúpula necesita un anillo de tensión para soportar el empuje radial hacia el exterior. Este anillo de tensión puede integrarse con el refuerzo angular principal en la parte superior de la estructura del tanque o bien como una sección integrante de la propia estructura de la cúpula. Este último caso (cúpula autoportante) es la solución más rentable y no necesita excesivo trabajo sobre la estructura del tanque. Debe prestarse especial atención cuando las cúpulas se instalan sin un anillo de tensión para garantizar que la sección superior de la estructura dispone de un soporte horizontal correcto.

Beneficios ambientales obtenidos: las reducciones de emisiones (estimadas con el método EPA AP-42) conseguidas en un estudio de casos de TTFE se presentan en el anexo 8.13.1. Para las condiciones del producto, tamaño del tanque, velocidad del viento, etc. considerado, la instalación de una cúpula consiguió una reducción estimada de las emisiones de un 93 %. La efectividad de una cúpula depende básicamente de la velocidad media anual del viento y del sistema de estanqueidad periférico instalado y, por tanto, es específica de cada instalación.

Facilidad de manipulación: el espacio confinado presenta dificultades de acceso, por ejemplo, para el mantenimiento de la cúpula y del techo flotante (antes el techo flotante externo). La reducción de emisión real depende de la efectividad de los elementos de estanqueidad instalados en el techo flotante existente.

Aplicabilidad: la construcción de una cúpula en un tanque existente suele requerir una revisión del diseño y una modificación del tanque. En tanques más grandes la construcción de una bóveda aún resulta más difícil.

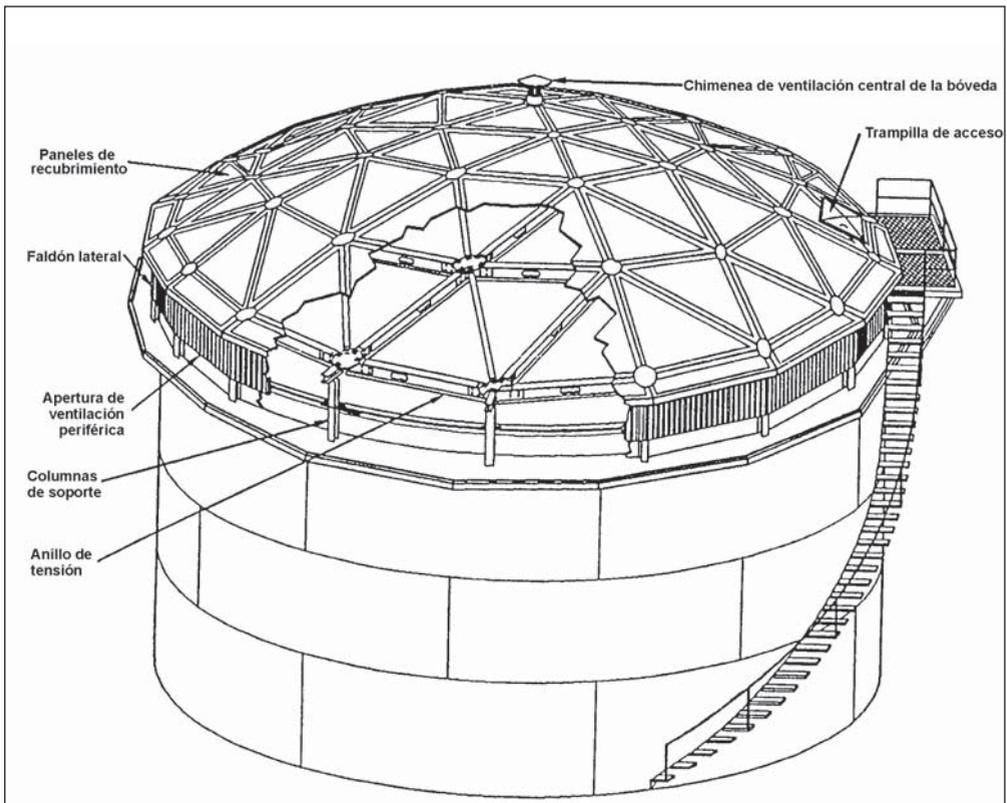


Figura 4.1: Tanque de techo flotante externo equipado con una cúpula de aluminio geodésica [166, EEMUA, 2003]

Cuestiones de seguridad: una cúpula introduce la posibilidad de que se cree una atmósfera inflamable entre el techo flotante y la cúpula y hace que las acciones de extinción de incendios sean complejas. El espacio confinado provoca problemas de entrada y salida.

Energía/residuos/efectos cruzados: No se han descrito.

Aspectos económicos: la instalación de una cúpula es una opción de alto coste, especialmente en una modificación. Los costes significativos dependen de forma específica de la instalación.

Bibliografía de referencia: [84, TETSP, 2001] [113, TETSP, 2001]

4.1.3.6. COLOR DEL TANQUE

Descripción: el color del tanque influye en la cantidad de radiación térmica y lumínica absorbida por los tanques de superficie y, por tanto, en la temperatura del líquido y el vapor que contienen. Esta medida es aplicable a todos los tipos de tanques de superficie. El impacto del color del tanque está limitado si éste ya está equipado con un techo flotante.

Para los tanques de almacenamiento en embarcaciones (almacenamiento flotante), el hecho de pintar la cubierta, que corresponde al techo del tanque, de un color claro también reduce la absorción de radiación térmica y lumínica.

Beneficios ambientales obtenidos: la Tabla 4.1 muestra los factores de pintura usados en la ecuación de pérdida de los tanques de almacenamiento atmosférico al aire libre, tal como se proporciona en AP-42.

Tabla 4.1: Factores de pintura [41, Concawe, 1999], con referencias a la EPA AP-42

Color de pintura	Tono o tipo de pintura	Factor de pintura en buen estado	Factor de pintura en mal estado
Aluminio	Especular	0,39	0,49
Aluminio	Difuso	0,60	0,68
Gris	Claro	0,54	0,63
Gris	Medio	0,68	0,74
Rojo	Imprimador	0,89	0,91
Blanco	n. a.	0,17	0,34

La Tabla 4.2, de la referencia VDI 3479 (Verein Deutscher Ingenieure) muestra el porcentaje de reflectancia de radiación térmica de diferentes colores en tanques.

Tabla 4.2: Reflectancia de radiación térmica de diferentes colores de tanque. Fuente: VDI 3479 Control de emisiones: Marketing Installation Tank Farms

Denominación del color	Reflectancia de radiación térmica total, %
Negro	3
Gris máquina	10
Marrón	12
Gris ratón	13
Verde	14
Azul	19
Gris plata	27
Gris piedra	38
Rojo	43
Gris claro	51
Marfil	57
Alu-Plata	72
Blanco crema	72
Blanco	84

De estas tablas se puede concluir que un tanque pintado de blanco presenta la menor emisión, respecto a otros colores de pintura.

Las reducciones de emisiones (estimadas con el método EPA AP-42) logradas cambiando el color de la pintura en cinco estudios de casos se muestran en el anexo 8.13. Para la gama de tipos de tanques, tamaños, renovaciones, radiación térmica o lumínica, productos, etc. considerada, la reducción potencial al cambiar el color del tanque de gris medio a blanco para un tanque básico (es decir, sin otras MCE instaladas) se halla en el intervalo de 15 a 82 %. Ello muestra que la efectividad es muy específica según las condiciones de almacenamiento y, en particular, de la cantidad de radiación térmica y lumínica y el número de renovaciones.

Facilidad de manipulación: necesita mantenimiento para cuestiones de impacto visual.

Aplicabilidad: ampliamente aplicable, también para tanques en embarcaciones (almacenamiento flotante). El acero inoxidable no necesitaría pintura como MCE.

Cuestiones de seguridad: no aplicables.

Energía/residuos/efectos cruzados: los residuos generados durante y después de la aplicación de pintura deben eliminarse. La pintura basada en disolventes orgánicos genera emisiones de COV durante su aplicación.

Aspectos económicos: como parte del programa de repintado, la pintura del tanque con un color de mayor reflectancia térmica es una MCE de bajo coste. Se pueden generar costes adicionales si se realiza fuera del ciclo de mantenimiento del tanque.

Bibliografía de referencia: [41, Concawe, 1999] [87, TETSP, 2001] [113, TETSP, 2001] and VDI 3479.

4.1.3.7. ESCUDOS SOLARES

Descripción: Es una técnica bastante nueva que consiste en la colocación de pantallas o escudos solares alrededor de los tanques verticales; se había utilizado previamente en los tanques horizontales de gas licuado. Se centra principalmente en el concepto de que se reducirá/prevendrá un aumento de la temperatura del vapor/producto del interior del tanque, lo que a su vez conllevará determinado potencial de reducción de la emisiones. Los escudos se sitúan de manera que se minimiza el impacto solar sobre la estructura del tanque. Entre el escudo y el tanque queda cierto espacio libre.

Beneficios ambientales obtenidos: La reducción de la emisiones (estimada siguiendo el método EPA AP-42) lograda al instalar escudos solares en dos casos de estudio se muestra en el anexo 8.13.4 y el anexo 8.13.4, respectivamente. En cuanto a los dos tamaños TTF considerados, el potencial de reducción correspondiente a la instalación de un escudo solar en un tanque base (es decir, sin ninguna otra MCE instalada y con un tanque de color gris medio) es del orden del 44 – 49 %. La eficacia habría descendido si los tanques hubieran estado pintados de color blanco.

Información operativa: Sólo una proporción viable de tanques de pequeño tamaño. La inspección bajo los escudos solares puede ser complicada. Los escudos requieren muy poco mantenimiento.

Aplicabilidad: En la actualidad sólo se utiliza en pequeños tanques o contenedores situados en áreas de gran exposición solar. Es posible que deba limitarse el acceso al escudo si se han utilizado materiales o sistemas de construcción ligeros. Además, el acceso a la zona situada entre el escudo y el tanque debería restringirse a causa de la posible presencia de vapores en este ambiente semicerrado y escasamente ventilado, ya que podría ocasionar accidentes.

Cuestiones de seguridad: Para evitar accidentes, el área inferior debe estar bien ventilada y el acceso al escudo debería estar restringido.

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: Los costes varían considerablemente dependiendo del tamaño y la construcción. Para el escudo en sí podrían utilizarse materiales de bajo coste.

Bibliografía de referencia: [113, TETSP, 2001]

4.1.3.8. ENFRIAMIENTO NATURAL DE LOS TANQUES

Descripción: El funcionamiento del tanque con bajas temperaturas de líquido es una medida importante para prevenir las emisiones, en especial cuando se almacenan mezclas de hidrocarburos líquidos con una elevada proporción de moléculas ligeras, por ejemplo la gasolina, la nafta y el petróleo crudo.

Para mantener la temperatura de almacenamiento por debajo de determinado límite, también durante el verano, resulta útil aprovechar todas las posibilidades naturales de enfriamiento del tanque. Los tanques de techo flotante son los que muestran mayores posibilidades de mantener la temperatura del líquido a niveles bajos al no existir un volumen de aire calentado entre el techo del tanque y el líquido que almacena. Por otro lado, también es útil mantener cierta cantidad de agua de lluvia en la parte superior del techo flotante en época estival. Al evaporarse, esta agua hará que descendan las temperaturas de almacenamiento y las emisiones.

Aparte del uso de escudos solares (véase el apartado 4.1.3.7), el enfriamiento por medio de películas de agua o pulverización de agua son posibles sistemas para reducir la temperatura del producto y las emisiones. Éstas y otras posibilidades de prevención de emisiones pasiva todavía no se emplean a su máximo potencial.

Información operativa: La industria es reticente a utilizar el enfriamiento natural. Trata de mantener los TFE libres de agua para evitar la corrosión y, en especial, para minimizar el riesgo de que el techo se hunda a causa de la acumulación de agua durante las tormentas. Además, aunque el enfriamiento por agua es un sistema aceptable en tanques de techo fijo como medida de emergencia, el aumento de la corrosión y del mantenimiento provocado por la utilización de un sistema de diluvio en el techo durante largos períodos se considera inaceptable por parte de los titulares, en especial si el agua utilizada es salobre o salada.

Energía/residuos/efectos cruzados: El empleo de agua puede ser inaceptable en regiones con escasez de agua dulce, en especial durante el verano, por ejemplo en el sur de Europa.

Aspectos económicos: Se producirá un aumento en los costes al tener que inspeccionarse más a menudo los tanques.

Bibliografía de referencia: [113, TETSP, 2001] [114, UBA, 2001] [175, TWG, 2003]

4.1.3.9. ELEMENTOS DE ESTANQUEIDAD PARA TECHOS FLOTANTES EXTERNOS E INTERNOS

4.1.3.9.1. *Elementos de estanqueidad periféricos*

Descripción: Los sistemas de estanqueidad periféricos se han diseñado para cubrir el hueco existente entre el pontón externo del techo flotante y la estructura del tanque (espacio periférico) y, por tanto, para minimizar las emisiones al exterior. Para evitar la salida de vapores a la atmósfera todos los TFE disponen al construirse de este elemento de estanqueidad llamado elemento de estanqueidad primario. Para reducir aún más las emisiones puede instalarse un segundo elemento por encima del primario. Existen nuevos diseños de elementos de sellado disponibles con elementos de estanqueidad primarios y secundarios integrados. En este caso, los elementos activos de los elementos primario y secundario independientes se integran en una misma estructura, con una o dos barreras de estanqueidad conectadas al techo flotante.

La eficacia de un elemento de estanqueidad depende de la «redondez» del tanque; ésta depende a su vez en primer término del asentamiento del tanque y, por extensión, del diseño de los cimientos del tanque (véase el apartado 4.1.2.1).

Elementos de estanqueidad primarios

Los tres tipos principales de elementos de estanqueidad primarios utilizados en los techos flotantes externos son los siguientes:

- de contacto gaseoso, véase la **Figura 4.2**
- de contacto líquido y con espumas, véase la **Figura 4.3**
- zapatas mecánicas (metálicas), véase la **Figura 4.4**.

Algunos elementos de estanqueidad primarios situados en techos flotantes externos se protegen mediante un escudo frente a los factores climatológicos. Estos escudos pueden ser metálicos, elastoméricos o de materiales compuestos y prolongan la vida del elemento de estanqueidad primario al proteger la tela que incorporan frente al deterioro provocado por la exposición a los elementos, la suciedad o al sol. Los escudos frente a los factores climatológicos son menos efectivos que los elementos de estanqueidad periféricos a la hora de reducir las emisiones, principalmente a causa de las juntas radiales no estancas.

En la confección de las lebas (contactos deslizantes) se utilizan habitualmente dos tipos de materiales. Uno de ellos es un material elastomérico celular de sección transversal cónica, con la parte más ancha en la zona de contacto. La goma es un material frecuentemente utilizado, pero también existe la posibilidad de usar uretano o plástico celular. Todas las juntas radiales del álabe están unidas. El segundo tipo de material que puede emplearse es un núcleo de espuma envuelto en una telarevestida. Las telas de poliuretano sobre nylon y la espuma de poliuretano son materiales usados comúnmente. El núcleo proporciona flexibilidad y apoyo, mientras que la tela crea la barrera frente al vapor y la superficie de desgaste.

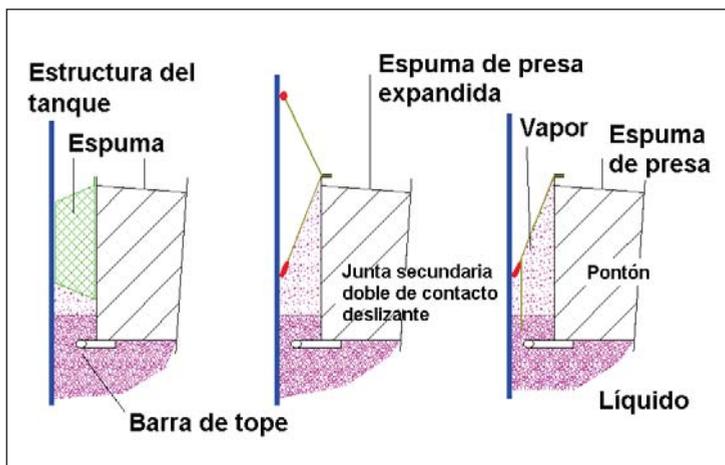


Figura 4.2: Elementos de estanqueidad de contacto gaseoso (característicos) [84, TETSP, 2001, 166, EEMUA, 2003]

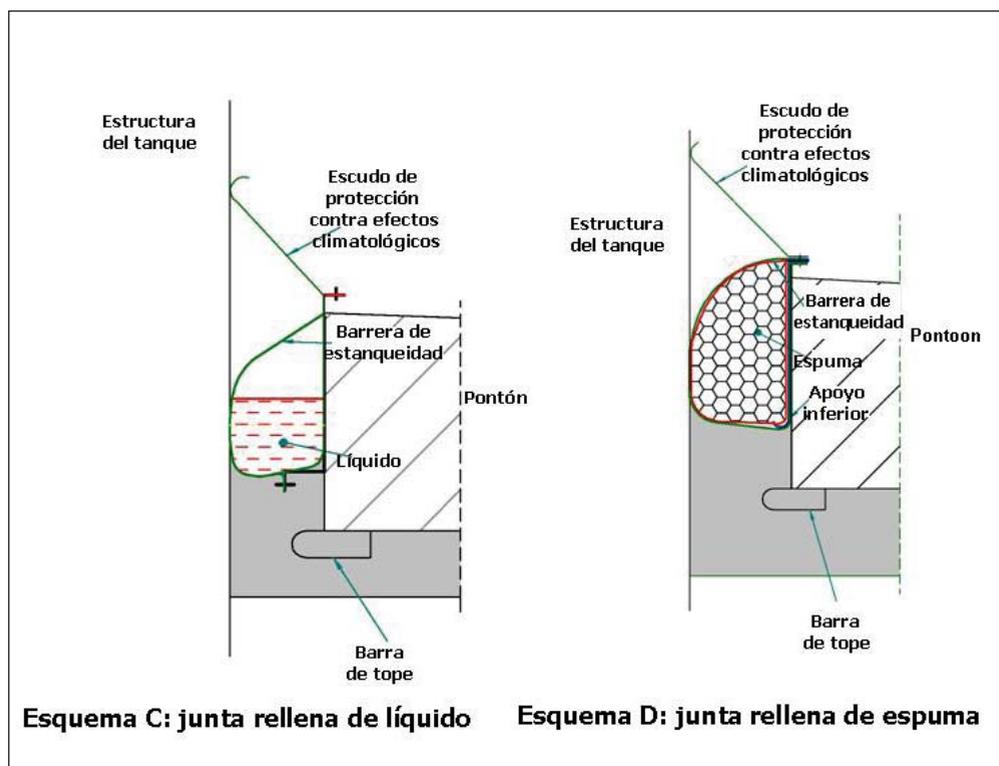


Figura 4.3: Esquemas de un elemento de estanqueidad de contacto líquido (izquierda) y un elemento de estanqueidad de contacto con espuma (derecha) [185, UBA Alemania, 2004]

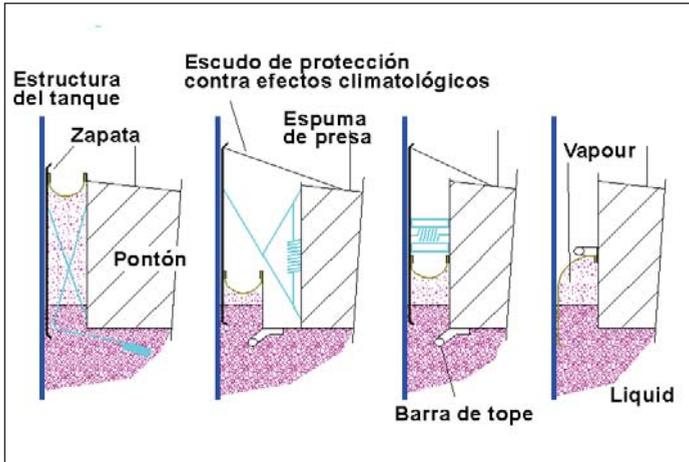


Figura 4.4: Elementos de estanqueidad con zapata mecánica y contacto líquido (característicos)
 [84, TETSP, 2001, 166, EEMUA, 2003]

Elementos de estanqueidad secundarios

Los elementos de estanqueidad secundarios pueden ser juntas de fricción o juntas rellenas de material elástico. Para los techos flotantes exteriores existen dos tipos de configuración de elementos de estanqueidad secundarios: con montaje en zapata y con montaje periférico, como muestra la Figura 4.5. Los elementos de estanqueidad secundarios con montaje periférico son más efectivos a la hora de reducir las pérdidas que los montados en zapata puesto que cubren la totalidad del espacio periférico del vapor. El diseño de zapata mecánica es más duradero.

En algunos tanques de techo flotante externos, no obstante, el uso de un elemento de estanqueidad secundario limita todavía más la capacidad operativa del tanque a causa de la necesidad de mantener el elemento secundario en contacto con la estructura del tanque cuando éste está lleno. Con todo, los diseños integrados han reducido las alturas de trabajo y prácticamente no afectan a la capacidad operativa del tanque.

También existen juntas secundarias con elementos de contacto líquido y absorción de agua. El detallista asegura que estos elementos pueden drenar la totalidad del agua de lluvia de la pared interna del tanque. Sin embargo, la utilización de estas juntas queda limitada al almacenamiento de productos «blancos» (productos refinados o semirrefinados sin cera parafínica). De este modo, los productos sensibles al agua pueden almacenarse en tanques de techo flotante. Por otro lado, la descarga del fondo del tanque y la corrosión de éste se reducen sustancialmente.

Siempre que todos los elementos de estanqueidad estén en buen estado, las zapatas mecánicas y las juntas de contacto líquido rellenas de material elástico

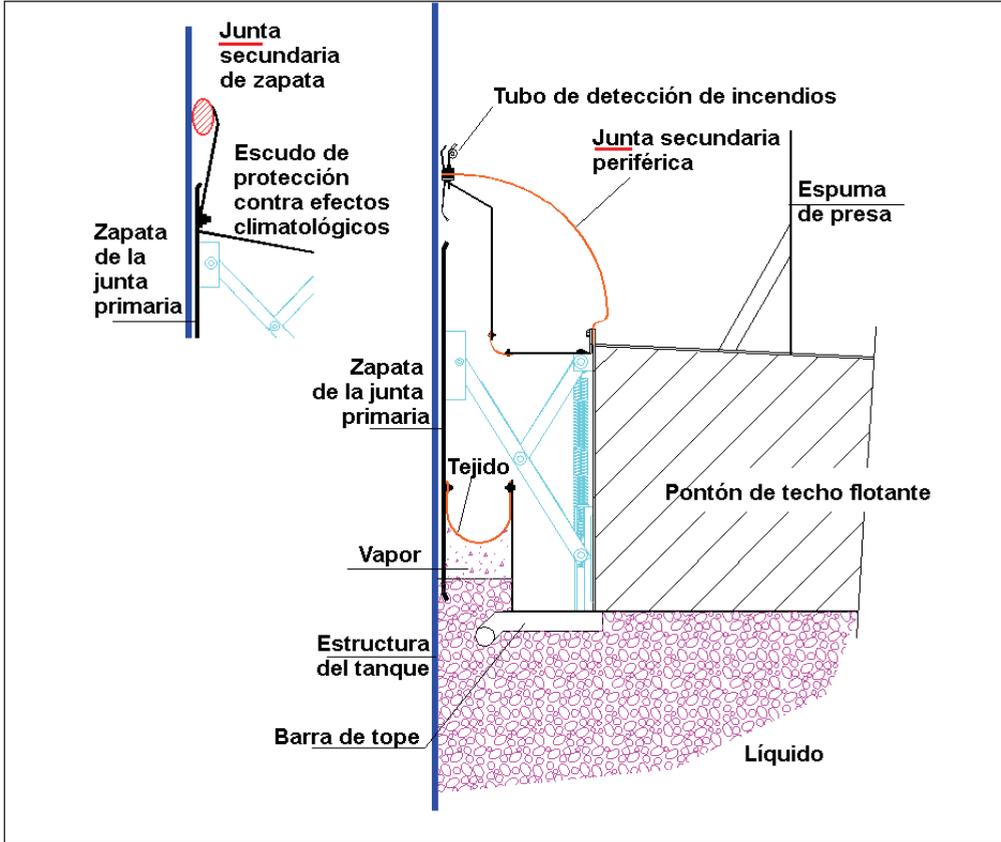


Figura 4.5: Junta de zapata mecánica de contacto líquido y junta secundaria periférica (característicos) [166, EEMUA, 2003]

proporcionan un mejor control de las emisiones atmosféricas, como reflejan los factores de pérdida de las juntas montadas sobre el perímetro obtenidos por API.

Beneficios ambientales obtenidos: Por lo que respecta a los TFE, puede lograrse una reducción de las emisiones de al menos el 97 % (en comparación con un tanque de techo fijo sin ninguna medida) cuando como mínimo el 95 % de la circunferencia que separa el techo y la pared mida menos de 3,2 mm y los elementos de estanqueidad sean de contacto líquido, preferentemente de tipo zapata mecánica.

La reducción de la emisiones (estimada siguiendo el método EPA AP-42) lograda al instalar distintos tipos de elementos de estanqueidad para techos en cinco casos de estudio se presentan en el anexo 8.13. En cuanto al TTFE estudiado, el potencial de reducción progresivo que representa sustituir una junta primaria de contacto gaseoso por una junta primaria de contacto líquido fue del 84 %. Se produjo un

5 % de aumento adicional en el potencial de reducción de las emisiones al instalar una junta secundaria periférica.

Si se instalan elementos de estanqueidad primarios de contacto líquido y secundarios periféricos en un tanque de techo flotante externo que almacenaba petróleo crudo y que tiene una media de 12 renovaciones al año puede lograrse una reducción de las emisiones de hasta el 99,5 % en comparación con un tanque de techo fijo que carezca de medidas.

Por lo que respecta a los cuatro casos de estudio de tanques de techo flotante, el aumento del potencial de reducción de las emisiones que representa sustituir un elemento primario de contacto gaseoso por una junta primaria de contacto líquido cuando hay instalado un techo de flotación interno (TFI) es muy pequeño. El aumento del potencial de reducción de las emisiones estimado para un elemento de estanqueidad secundario en el TFI también es escaso.

El API (American Petroleum Institute) ha llevado a cabo ensayos genéricos sobre las emisiones generadas por los TTFE a partir de las siguientes combinaciones de elementos de estanqueidad: junta de zapata mecánica, junta rellena de material elástico (tanto de contacto gaseoso como líquido), además de combinaciones de estos elementos con otros de tipo secundario periféricos. La conclusión de los ensayos fue que el empleo conjunto de elementos primarios de contacto líquido (por ejemplo una junta de zapata metálica o una junta rellena de material elástico de contacto líquido) y juntas secundarias periféricas representaba una reducción significativa de las emisiones en comparación con los elementos de estanqueidad primarios por sí solos. Para obtener más información véase el Manual of Petroleum Measurement Standards de API, capítulos 19.1 y 19.2 (anteriormente estándares API 2517 y API 2519). En el anexo 8.22 los rendimientos de distintos sistemas de estanqueidad, de acuerdo con el mencionado manual del API, se muestran en forma de gráfico.

La eficacia de un TFE depende en gran medida del producto que se almacena en su interior, el número de renovaciones anuales y el diámetro del tanque. En el anexo 8.20 se muestran, de acuerdo con el manual antes mencionado del API, los cálculos correspondientes a diferentes tamaños y un número variable de acciones de llenado al almacenar gasolina; en el anexo 8.21 se muestran esos mismos cálculos, pero esta vez en comparación con la eficacia de los TFE al almacenar petróleo crudo.

Información operativa: En el caso de los TTFE, los elementos de estanqueidad son fáciles de utilizar e instalar, si bien plantean problemas potenciales a la inspección de la separación de las juntas y del estado de los elementos primarios. Puesto que el elemento de estanqueidad aumenta la «altura» del tanque, reduce también su capacidad utilizable.

Respecto a los TFI, se dan algunas dificultades a la hora de inspeccionar y realizar el mantenimiento de los elementos de estanqueidad primarios, que empeoran con la instalación de elementos secundarios.

La sustitución de los elementos secundarios en los TTFE es necesaria aproximadamente cada 10 años, aunque el intervalo depende en gran parte de la condición en que se encuentre la estructura del tanque, las condiciones atmosféricas y la calidad del material de los elementos de estanqueidad.

La elección del tipo de elemento de estanqueidad guarda relación con su fiabilidad; así, por ejemplo, las juntas de zapata son las mejores en cuestión de vida útil y, por tanto, para renovaciones frecuentes.

Aplicabilidad: Elevada. A pesar de todo, no se tiene mucha experiencia práctica sobre juntas de estanqueidad secundarias con elementos de contacto líquido y absorción de agua.

La Directiva 94/63/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de diciembre de 1994 sobre el control de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) resultantes del almacenamiento y distribución de gasolina desde las terminales a las estaciones de servicio obliga, entre otras cosas, a que los tanques con techos externos flotantes estén equipados con elementos de estanqueidad primarios y secundarios.

En los Países Bajos, la condición que determina cuándo utilizar un TFE capaz de lograr una reducción de las emisiones de al menos el 97 % se da cuando la sustancia en cuestión tiene una presión de vapor de 1 kPa (a 20 °C) y el tanque un volumen de ≥ 50 m³. Sin embargo, estos valores no son válidos para las sustancias volátiles tóxicas, para las que el tanque debe estar conectado a una instalación de tratamiento de gases, por lo que será necesario disponer de un tipo de tanque que sea compatible con dicha instalación de tratamiento.

En Alemania, la TA Luft determina para las nuevas instalaciones y para sustancias con una presión de vapor superior a 1,3 kPa (a 20 °C) o ciertas sustancias de clasificación especial (véase el apartado 4.1.3.15), que los puntos de emisión estén conectados a una instalación de tratamiento de gases, un conducto de recogida del vapor y una unidad de recuperación del vapor. A pesar de todo, el petróleo crudo que deba almacenarse en tanques con un volumen superior a los 20 000 m³ también puede almacenarse en un tanque de techo flotante que sea eficazmente estanco en los extremos o bien en tanques de techo fijo dotados de un techo flotante interno si las emisiones se reducen en al menos el 97 % en comparación con los tanques de techo fijo sin techo flotante interno. Por otro lado, los techos flotantes también pueden utilizarse en las instalaciones existentes siempre que no contengan sustancias que entren en la categoría de carcinogénicas/mutagénicas/tóxicas

para la reproducción y que la eficacia en la reducción de las emisiones sea de al menos el 97 %.

Cuestiones de seguridad: El riesgo de incendio se minimiza si se instala una toma de tierra adecuada en el techo del tanque. Los escudos de espuma contra incendios, cuya aplicabilidad se limita a los TTFE, serán necesarios para ayudar a sofocar posibles incendios en el perímetro. El acceso con fines de mantenimiento e inspección requerirá la habilitación de medidas propias para espacios cerrados.

Energía/residuos/efectos cruzados: Las juntas secundarias reducen la entrada de agua en el contenedor, limitando así el drenaje y las emisiones asociadas que generan los sistemas de tratamiento de aguas residuales. En cuanto a los tanques que almacenan productos «blancos», el detallista asegura que las juntas secundarias con elementos de contacto líquido y absorción de agua ofrecen las siguientes ventajas:

- el líquido almacenado no se daña a causa del agua de la lluvia;
- no es necesario drenar el agua del fondo del tanque;
- se reduce la corrosión del fondo del tanque;
- se reduce la cantidad de agua inutilizable que requiere tratamiento de aguas residuales.

Aspectos económicos: Costes normalmente bajos-medios. Por lo que respecta a los TTFE, el valor del ahorro en emisiones no alienta demasiado a sustituir los elementos de estanqueidad secundarios, aunque cuando es necesario sustituir una de las juntas, el coste adicional de dotar al tanque de elementos secundarios normalmente está justificado. Aparte de ello, las juntas secundarias no sólo posibilitan una reducción de las emisiones a la atmósfera, sino que además ofrecen otras ventajas, mencionadas arriba, que permitirán ahorrar costes de, por ejemplo, mantenimiento o tratamiento de aguas residuales.

Añadir un elemento de estanqueidad secundario a un TFI no resulta económicamente viable y, además, complica considerablemente la inspección.

Bibliografía de referencia: [113, TETSP, 2001] [114, UBA, 2001] [41, Concawe, 1999] [66, EPA, 1997] [131, W-G Seals Inc., 2002] [58, KWS2000, 1991] [87, TETSP, 2001] [175, TWG, 2003]

4.1.3.9.2. POZOS FIJOS Y GUÍAS

Descripción: Las emisiones pueden escaparse a través de dispositivos accesorios tanto de los techos flotantes como de los fijos donde existan recorridos por donde

los vapores puedan escapar. En los TTFE, estos accesorios son los pozos fijos calibrados y los soportes del techo. A continuación se exponen los detalles de los sistemas de control de emisiones de ambos.

Pozos fijos calibrados

Los pozos fijos que cuentan con aberturas de gran tamaño son grandes fuentes de emisiones en los tanques de techo flotante. Si contienen productos como gasolina, estos pozos fijos calibrados producen emisiones de varias toneladas al año, dependiendo de las condiciones de velocidad del viento que afecten al emplazamiento. La Figura 4.6 muestra las emisiones normales y las potenciadas por el viento, incluidos sus recorridos.

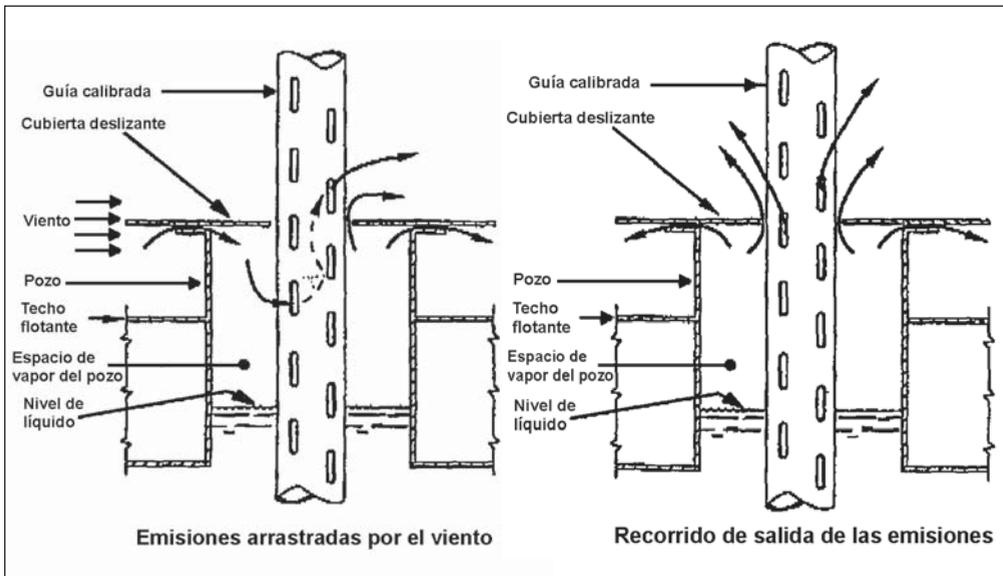


Figura 4.6: Emisiones generadas por los pozos fijos [41, Concawe, 1999]

La Figura 4.7 muestra un diseño típico de pozos fijos que incluye los siguientes elementos:

- **junta de pared:** junta que sella el espacio intermedio existente entre la cubierta deslizante y las cubiertas fijas situadas en la guía del pozo. La cubierta deslizante posibilita cierto grado de movimiento del techo del tanque;
- **camisa de la guía:** la camisa está unida a la cubierta deslizante, rodea la guía y desciende hasta entrar en contacto con el producto líquido, creando así una barrera entre el espacio de vapor del pozo y la guía;
- **limpiador de la guía:** se trata de una junta de goma unida a la parte superior de la cubierta deslizante que se prolonga por encima del espacio anular entre

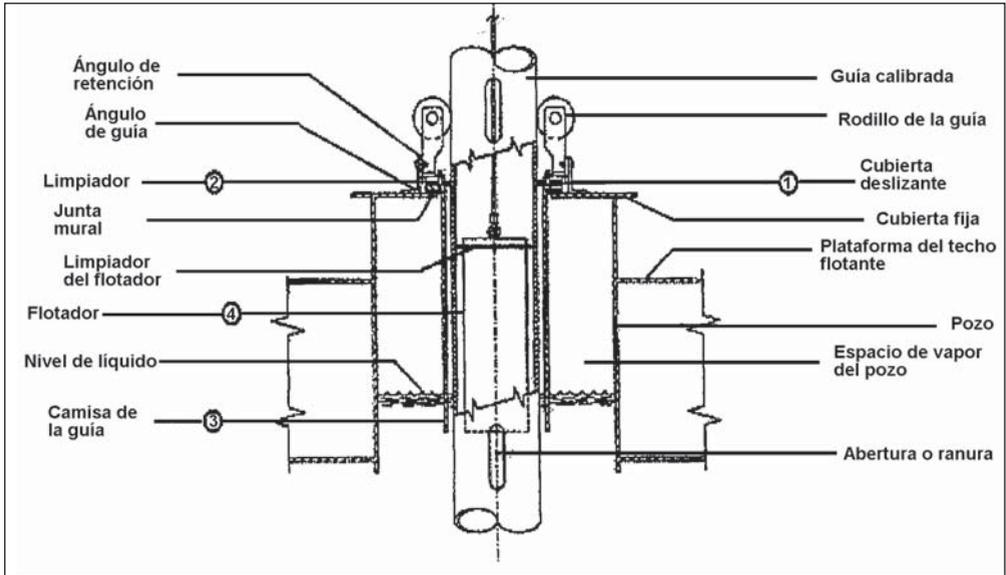


Figura 4.7: Diseño para reducir las emisiones generadas por los pozos fijos [41, Concawe, 1999]

la guía y la camisa. El limpiador no sólo impide posibles pérdidas a través del espacio de separación, sino que reduce la cantidad de material que se adhiere a la guía, cuando el nivel del tanque desciende, al limpiar la parte externa de la guía y reducir las pérdidas causadas por el funcionamiento del tanque

- **flotador y limpiador flotante: esta combinación reduce las emisiones** procedentes del interior del pozo fijo.

Se han desarrollado otros sistemas de control para pozos fijos como el que muestra la Figura 4.8, en este caso una camisa de tela situada en la parte exterior.

Soportes del techo

Los soportes del techo presentan unas emisiones propias relativamente bajas si se comparan con las de otros accesorios de los techos de los tanques. El embolsado de los soportes es económico si se utiliza el material de las juntas periféricas. Una alternativa más barata, aunque quizá sólo temporal, consistiría en tapar con cinta todos los huecos de los soportes. Estas técnicas prácticamente eliminarían esta fuente de emisiones. Al igual que otras medidas de control, su eficacia depende de la inspección periódica que, en el caso de los soportes puede llevarse a cabo visualmente.

Beneficios ambientales obtenidos: La reducción de las emisiones (estimada siguiendo el método EPA AP-42) lograda en un caso de estudio de TTFE figura en el anexo 8.13.1. Cuando se incorporaron MCE distintas al tanque estimado

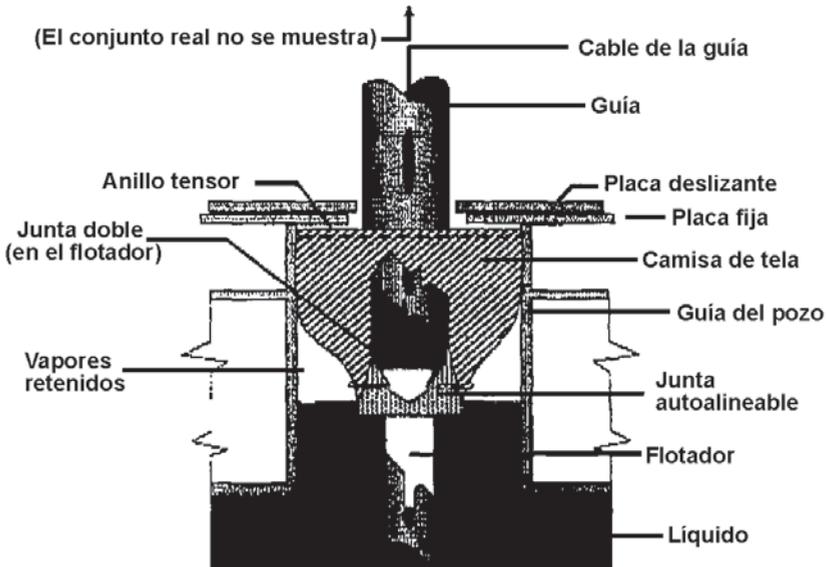


Figura 4.8: Diseño con camisa de tela para reducir las emisiones generadas por los pozos fijos [41, Concawe, 1999]

como caso base, los potenciales de reducción de las emisiones estimados fueron los siguientes:

- 4 % con la instalación de un flotador en el pozo fijo calibrado;
- 6 % con la instalación de una camisa alrededor del pozo fijo calibrado;
- 0,3 % al cubrir con bolsas los soportes del techo.

Los datos anteriores demuestran que los accesorios del techo son fuentes menores de emisiones, según se desprende del caso base de TTFE estudiado. Cuando estas MCE se incorporaron a un tanque dotado de juntas de estanqueidad primarias de contacto líquido y secundarias periféricas los potenciales de reducción de las emisiones fueron los que siguen:

- 39,4 % con la instalación adicional de un flotador en un pozo fijo calibrado;
- 54,8 % con la instalación adicional de una camisa alrededor del pozo fijo calibrado;
- 3,0 % al cubrir adicionalmente con bolsas los soportes del techo.

Información operativa: De fácil instalación y utilización, aunque potencialmente puede provocar problemas a la hora de inspeccionar los espacios de separación de las juntas. Los flotadores en el interior de los pozos fijos dan problemas si el pozo se utiliza para la toma de muestras. No está demostrada la durabilidad.

Aplicabilidad: Elevada.

Cuestiones de seguridad: El acceso con fines de mantenimiento e inspección requerirá la habilitación de medidas propias para espacios cerrados.

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: Coste muy bajo en los tanques nuevos y todavía bajo si se lleva a cabo una remodelación.

Bibliografía de referencia: [113, TETSP, 2001] [114, UBA, 2001]

4.1.3.10. TECHO FLOTANTE INTERNO (TFI)

Descripción: Los tanques de techo flotante interno (TTFI) disponen tanto de techo fijo permanente como de techo flotante (o plataforma) en el interior. La plataforma de un TTFI asciende y desciende con el nivel de líquido y o bien flota directamente sobre la superficie del líquido (plataforma de contacto) o bien reposa sobre pontones situados varios centímetros por encima de la superficie del líquido (plataforma sin contacto). Los techos flotantes de contacto pueden ser:

- paneles sándwich de aluminio unidos por medio de pernos, con un núcleo de aluminio con estructura de panal;
- plataformas con bandeja de acero con o sin pontones;
- paneles flotantes revestidos con resina (poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV)).

La mayoría de techos flotantes de contacto directo que se encuentran actualmente en servicio son de tipo panel sándwich de aluminio o de bandeja de acero. Las plataformas de PRFV son menos habituales. Los paneles de las plataformas con bandeja de acero normalmente se suelen soldar.

Las plataformas sin contacto son el tipo más habitual en uso hoy en día. Las plataformas sin contacto características se construyen a partir de una plataforma de aluminio y un armazón de rejilla sostenido por encima de la superficie del líquido mediante pontones tubulares de aluminio o alguna estructura flotante parecida cubierta de láminas o paneles de aluminio delgados, normalmente sellados y unidos por pernos o remaches.

Tanto las plataformas sin contacto como las de contacto incorporan juntas periféricas y dispositivos accesorios en la plataforma con los mismos fines antes descritos en el caso de los TTFE. Las emisiones generadas por los techos flotantes pueden proceder de los accesorios de la plataforma, de uniones de la platafor-

ma no soldadas y del espacio anular situado entre la plataforma y la pared del tanque.

Los tanques dotados de TFI pueden ventilarse libremente a través de los orificios de ventilación situados en el extremo y la parte superior del techo fijo para reducir al mínimo la posibilidad de que el gas se acumule en el espacio de vapor del tanque a concentraciones próximas al umbral de inflamabilidad. La eficacia de una válvula de alivio de presión y de vacío (VAPV), en tanto que MCE, se reduce considerablemente.

Beneficios ambientales obtenidos: En tanques de techo fijo con una capacidad superior a los 50 m³ que contengan productos con una presión de vapor > 1 kPa a temperatura de trabajo, la instalación de un techo flotante interno puede suponer una reducción de las emisiones de al menos el 90 %. Es posible lograr una reducción de las emisiones de al menos el 97 % (en comparación con un tanque de techo fijo carente de medidas) cuando más del 95 % de la circunferencia que separa el techo y la pared mida menos de 3,2 mm y los elementos de estanqueidad sean de contacto líquido, preferentemente de tipo zapata mecánica.

La reducción de las emisiones (estimada siguiendo el método EPA AP-42) lograda al instalar un TFI en cuatro casos de estudio de TTF figura en el anexo 8.13. A partir del análisis de distintos tamaños de tanque, renovaciones, productos, etc., el potencial de reducción que supone la instalación de un TFI fue de 62,9 – 97,4 % a medida que el diámetro del tanque aumentaba de 4 a 33 metros. La eficacia de un TFI no sólo depende del diámetro del tanque, sino también del producto que almacena y del número de renovaciones anuales. En el anexo 8.23 se recogen los cálculos de las eficacias, realizados según el mencionado método del EPA, correspondientes a los distintos tamaños de tanque, equipados con una junta primaria tipo zapata y a un número variable de acciones de llenado al almacenar gasolina. Véase también el aparatado sobre elementos de estanqueidad para techos 4.1.3.9.

Información operativa: La capacidad de almacenamiento se reduce y es necesario considerar en la fase de diseño posibles problemas de inflamabilidad del ambiente. La estabilidad del techo durante el proceso de llenado también debe considerarse, ya que un aumento repentino de la velocidad de llenado podría conllevar inestabilidad. Una vez instalado es fácil de utilizar, pero su inspección y mantenimiento son complicados.

Aplicabilidad: En los Países Bajos, las condiciones que determinan la utilización de un TFI son que la sustancia tenga una presión de vapor de 1 kPa (a 20 °C) y el tanque un volumen de ≥ 50 m³. Sin embargo, estos valores no son válidos para las sustancias volátiles tóxicas, para las que el tanque debe estar conectado a una instalación de tratamiento de gases (véase el apartado 4.1.3.15)

En Alemania, la TA Luft determina para las nuevas instalaciones y para sustancias con una presión de vapor superior a 1,3 kPa (a 20 °C) o ciertas sustancias de clasificación especial, que los puntos de emisión estén conectados a una instalación de tratamiento de gases, un conducto de recogida del vapor o una unidad de recuperación del vapor (véase el apartado 4.1.3.15). A pesar de todo, el petróleo crudo que deba almacenarse en tanques con un volumen superior a los 20 000 m³ también puede almacenarse en un tanque de techo flotante que sea eficazmente estanco en los extremos o bien en tanques de techo fijo dotados de un techo flotante interno si las emisiones se reducen en al menos el 97 % en comparación con los tanques de techo fijo sin techo flotante interno. Por otro lado, los techos flotantes también pueden utilizarse en las instalaciones existentes siempre que no contengan sustancias que entren en la categoría de carcinogénicas/mutagénicas/tóxicas para la reproducción y que la eficacia en la reducción de las emisiones sea de al menos el 97 %. Los tanques de techo fijo cuyo volumen sea inferior a 300 m³ no necesitan conectarse a un conducto de recogida del vapor o una unidad de tratamiento de gases si se trata de sustancias orgánicas líquidas con una presión de vapor del producto superior a 1,3 kPa (a 20 °C) que no figuren entre las sustancias de clasificación especial ni dentro de los valores límite indicados.

Los TFI se utilizan ampliamente en la industria del petróleo, si bien sólo son aplicables a los tanques de techo fijo verticales. Los TFI son menos efectivos en tanques con diámetros pequeños a causa de la escasa eficacia de las juntas periféricas en esos tanques.

Pueden darse problemas de incompatibilidad entre los productos almacenados y los materiales de construcción del TFI, por ejemplo láminas de aluminio/pontones o juntas/material de sellado. Cuando exista un tratamiento cáustico en plantas situadas más abajo, en procesos posteriores, por ejemplo refinerías, la corrosión del TFI podría plantear problemas de aplicabilidad.

Las succiones flotantes de los tanques existentes, los regímenes de llenado elevados, el uso de mezcladores u otros elementos protuberantes dificultan las posibles remodelaciones.

Cuestiones de seguridad: Existe potencial de inflamabilidad del ambiente. Además, los TFI afectan negativamente a la extinción de incendios. También es necesario considerar problemas de acceso y salida propios de espacios cerrados.

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: Técnica de coste medio, especialmente en caso de remodelación. Añadir un elemento de estanqueidad secundario a un TFI no resulta económicamente viable y, además, complica considerablemente la inspección.

Bibliografía de referencia: [41, Concauwe, 1999], [66, EPA, 1997], [84, TETSP, 2001, 113, TETSP, 2001] [110, KWS2000, 1992] [179, UBA Alemania, 2004]

4.1.3.11. VÁLVULAS DE ALIVIO DE PRESIÓN Y DE VACÍO (VAPV)

Descripción: Estas válvulas se instalan como mecanismo de seguridad en los tanques de techo fijo para prevenir excesos de presión o arrastres a causa del vacío, pero también resultan útiles al limitar las emisiones de gases a la atmósfera. Son igualmente útiles para limitar pérdidas de llenado y, en especial, para las pérdidas por respiración. Si se utiliza gas inerte como protección deberá comprobarse que la presión en el interior del tanque no contrarreste los efectos de la VAPV.

Beneficios ambientales obtenidos: La reducción de las emisiones (estimada siguiendo el método EPA AP-42) lograda al instalar una VAPV en cuatro casos de estudio figura en el anexo 8.13. Por lo que respecta a los tamaños de tanque, renovaciones, radiaciones solares, productos, etc., estudiados, los potenciales de reducción fueron los siguientes:

- al incorporar una VAPV de baja presión a un caso base de TTF (es decir, sin MCE adicionales instaladas) se sitúan en el 5 – 13 %;
- tras la actualización y la incorporación de una VAPV de «alta» presión (56 mbar) a un caso base de TTF se sitúan en el 12 – 31 %.

Los valores anteriores demuestran que la eficacia de una VAPV depende específicamente de las condiciones de almacenamiento.

Existen además otros datos obtenidos a partir de un estudio realizado en los Países Bajos, que indican una posible reducción del orden del 30 – 50 % al utilizar válvulas de baja presión y del orden del 65 – 85 % al utilizar válvulas de alta presión. [129, VROM y EZ, 1989]

Información operativa: Las VAPV no requieren mucho mantenimiento y son fáciles de incorporar a instalaciones nuevas o remodeladas.

Aplicabilidad: Elevada, también en depósitos de embarcaciones, los llamados buques de almacenamiento flotantes, como se describe en el apartado 3.1.18. Sin embargo, en caso de bloqueo de la VAPV el tanque podría dejar de funcionar. Así pues, si se prevén posibles polimerizaciones, condensaciones o formaciones de hielo deberán adoptarse medidas de proceso adaptadas a las particularidades del líquido almacenado, por ejemplo:

- trazado, calentamiento o aislamiento para evitar polimerizaciones o formación de condensación o hielo;

- purgas de gas o descarga de líquidos para evitar la presencia de la sustancia en la VAPV.

Las válvulas de alivio de presión configuradas al valor máximo posible, adaptado a los criterios de diseño del tanque, se utilizan habitualmente en tanques de un volumen $< 50 \text{ m}^3$.

Cuestiones de seguridad: Las VAPV deben estar bien diseñadas para que sean adecuadas para todos los posibles escenarios, por ejemplo regímenes de carga máximos o diferencias de respiración. La evaluación por zonas del área podría variar. La posibilidad de bloqueo o formación de hielo requiere realizar inspecciones periódicas.

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: Coste muy bajo, en especial en instalaciones nuevas. Las válvulas también resultan económicas en caso de remodelación, pero podrían provocar un aumento de las presiones de funcionamiento del tanque.

Bibliografía de referencia: [113, TETSP, 2001]

4.1.3.12. SISTEMAS DE DRENAJE CERRADOS

Descripción: En los tanques atmosféricos, los sistemas de drenaje pueden conducirse a un depósito de recuperación donde el material normalmente será recuperado y reciclado o, de lo contrario, tratado como un residuo. Si el almacenamiento es a presión, los drenajes pueden dirigirse a través de un depósito presurizado a un sistema de compresión para su relicuación (por ejemplo el amoniaco) o a una instalación de tratamiento de gases (normalmente oxidación térmica).

Información operativa: Los sistemas de drenaje no representan dificultades concretas; la eficacia de esta medida depende por completo de los sistemas de tratamiento posteriores.

Aplicabilidad: Esta técnica es aplicable, por lo general, a la mayoría de productos. Con todo, el tratamiento de los gases deberá ser específico tanto para las instalaciones como para el producto. Es posible que se produzcan dificultades como consecuencia del bloqueo de los conductos de drenaje por la presencia de, por ejemplo, sólidos o lodos. Este problema normalmente se soluciona con un correcto diseño de los conductos (ausencia de puntos bajos, pendientes adecuadas, etc.).

Cuestiones de seguridad: Los sistemas de drenaje cerrados requieren más piezas de equipo que los sistemas de drenaje convencionales y su diseño es, por

tanto, más complejo. Debe prestarse especial atención en el caso de los depósitos de drenaje a presión para que el flujo de drenaje no supere la capacidad del sistema de recuperación y para que la presión en puntos posteriores de la red de drenaje se mantenga dentro de los límites aceptables. Por otra parte, cuando se drenan depósitos de almacenamiento de gas licuado, debe tenerse en cuenta el riesgo de bloqueo de las válvulas de drenaje a causa del hielo y los hidratos.

Energía/residuos/efectos cruzados: El uso de energía puede ser elevado y, dependiendo del tratamiento, pueden generarse residuos (líquidos o sólidos) y otras emisiones de gas.

Aspectos económicos: Esta técnica es una opción costosa que requiere una evaluación técnica en profundidad. Los costes dependen en gran medida del producto almacenado.

Bibliografía de referencia: [113, TETSP, 2001]

4.1.3.13. COMPENSACIÓN DE VAPOR

Descripción: La compensación de vapor consiste en la recogida de los vapores que se desplazan durante el transporte de líquido desde el «tanque receptor» y su devolución al tanque desde el que el producto se suministra, el «tanque de suministro». Estos sistemas requieren que los tanques receptor y de suministro sean de techo fijo para permitir la captación del vapor y su transporte.

El objetivo del sistema de compensación es reducir las emisiones atmosféricas generadas por el transporte de líquidos mediante la conducción de los vapores del tanque receptor al de suministro. El volumen del producto retirado del tanque de suministro es sustituido por vapores en vez de por aire procedente de la atmósfera a través de los orificios de ventilación. De este modo se reduce la evaporación en función del nivel de saturación de los vapores devueltos. La eficacia máxima que se puede alcanzar se limita, por tanto, a aproximadamente el 80 % en estas aplicaciones, dependiendo del número de renovaciones del tanque, etc.

El principio de la compensación requiere que las canalizaciones sean estancas al vapor entre los espacios de vapor del tanque receptor y del de suministro. El conducto de conexión utilizado para la compensación de vapor no se cierra durante el llenado para evitar presiones excesivas en el tanque. El sistema está diseñado de tal modo que con un caudal máximo de gas (es decir, a niveles de llenado y de respiración máximos) el aumento de la presión en el tanque de suministro no provoca emisiones a través de las válvulas de alivio de la presión del tanque. El sistema de compensación de vapor debe estar protegido frente a los riesgos derivados de la manipulación de mezclas potencialmente explosivas de aire/hidrocarburo, mezclas

de compuestos incompatibles o diferencias excesivas de presión entre los tanques de recepción y de suministro.

Beneficios ambientales obtenidos: La compensación de vapor reduce las emisiones provocadas por el proceso de llenado. La eficacia máxima posible se limita a aproximadamente el 80 % en tanques con un número de renovaciones muy elevado. Cuanto menor sea el número de renovaciones del tanque, tanto menor será la eficacia.

Información operativa: Esta técnica es razonablemente fácil de utilizar, pero requiere un aumento de las inspecciones de los supresores de explosiones, las VAPV y más pruebas de fugas de gas. Debería ser posible aislar los distintos tanques para poder obtener muestras y realizar el mantenimiento y las inspecciones adecuadamente. Es posible que la condensación se acumule en puntos bajos del sistema de conducción del vapor y en la estructura de los supresores, lo que representaría un problema de extracción potencial.

Aplicabilidad: La compensación de vapor sólo se pueden utilizar en sistemas de almacenamiento de presión atmosférica con un espacio para el vapor situado entre el líquido y el «techo» de, por ejemplo, el TTF. El nivel de presión de los tanques que están conectados al sistema de compensación de vapor debe ser el apropiado para que el sistema funcione. Deben tenerse en cuenta las posibles contaminaciones cruzadas entre los líquidos almacenados. La compensación de vapor se utiliza frecuentemente en tanques de techo fijo que albergan sustancias químicas.

El equilibrado de vapores también es aplicable al almacenamiento flotante (véase el apartado 3.1.18). Si el tanque del buque está conectado a un sistema de compensación situado en la orilla, las canalizaciones que conducen el vapor deberán incorporar secciones flexibles para adaptarse al movimiento provocado por las olas y las mareas.

Cuestiones de seguridad: La compensación de vapor presenta un potencial de riesgo elevado que aumenta asintóticamente con el número de tanques, en especial el riesgo de incendio. También existe potencial de bloqueo de los supresores de explosiones. Las cuestiones relativas al diseño son primordiales, por ejemplo que los tanques dispongan de válvulas de alivio de la presión.

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: La instalación de un sistema de compensación de vapor es una opción de coste medio-alto. Los costes más significativos dependen de las instalaciones, en concreto del diseño de los tanques existentes.

Bibliografía de referencia: [18, UBA, 1999, 113, TETSP, 2001]

4.1.3.14. DEPÓSITOS PARA VAPORES: TANQUES DE DIAFRAGMA FLEXIBLE

Descripción: Los depósitos o tanques para vapores (CTV) se emplean en los sistemas de compensación de vapor para almacenar los gases producidos por la «respiración exterior» de los tanques a consecuencia de subidas de temperatura en el espacio para vapor del tanque. Estos vapores se liberan nuevamente hacia el tanque cuando la temperatura se reduce otra vez. La mayoría de CTV son tanques verticales de superficie. También es posible remodelar tanques esféricos u horizontales, ya sean de superficie o subterráneos, para albergar vapores.

En los CVT se instala un diafragma que se ubica en la periferia, alrededor de la estructura y a media altura del tanque. El diafragma lleva un contrapeso que aporta estabilidad en su trayectoria por el interior de la estructura.

El material del diafragma debería ser lo suficientemente conductor para evitar la generación de electricidad estática al frotarse contra la estructura del tanque. Normalmente tiene una velocidad de permeación tan baja como resulta rentable para la instalación.

Los tanques verticales de superficie utilizados como CTV normalmente se construyen de acuerdo con la norma API 650 o equivalente para almacenar vapores, no líquidos, con una junta blanda entre el techo y la estructura. Los CTV deberían tratarse como tanques normales al considerar las distancias de seguridad respecto a otros tanques y fuentes de ignición (véase el apartado 4.1.6). Los CTV no requieren dique de contención al no albergar líquidos.

Los orificios de venteo del techo se practican de acuerdo con las normas aceptadas, por ejemplo API 2000, (véanse los Códigos internacionales) a partir de la consideración de que el flujo de vapor es equivalente al flujo del producto líquido conducido hacia un tanque normal. El techo debería disponer de un acceso para el personal con fines de inspección y mantenimiento.

Debería instalarse además una válvula de presión/vacío (válvula P/V) conectada al espacio para vapor situado por debajo del diafragma para evitar excesos de presión cuando el tanque esté lleno. La capacidad de ventilación de la válvula de presión debe poder resistir el caudal máximo del flujo de entrada al tanque previsto en el diseño junto con la correspondiente expansión térmica.

Beneficios ambientales obtenidos: La reducción de las emisiones (estimada siguiendo el método EPA AP-42) lograda al instalar un tanque de vapores en cuatro casos de estudio de TTF se muestra en el anexo 8.13. Por lo que respecta a los distintos tamaños de tanque, la renovación, la radiación solar, los productos, etc., considerados, el potencial de reducción que representa la instalación de un tanque de vapores en los tanques del caso base (es decir, sin otras MCE instala-

das) se sitúa entre el 33 – 100 %. La eficacia depende de la cantidad de emisiones provocadas por la respiración en relación con el total de emisiones. Así pues, los CTV son muy eficientes cuando las pérdidas por respiración son una proporción muy elevada del total, por ejemplo cuando el número de renovaciones del tanque es muy bajo. La eficacia, pues, depende en gran medida de las condiciones de funcionamiento del almacenamiento y de la cantidad de radiación solar.

Información operativa: Es una técnica razonablemente fácil de utilizar, aunque requiere un aumento de las inspecciones de los supresores de explosiones. Debería ser posible aislar los distintos tanques para poder tomar muestras y realizar el mantenimiento y las inspecciones adecuadamente. Es posible que la condensación se acumule en puntos bajos del sistema de conducción del vapor y en la estructura de los supresores, lo que representaría un problema de extracción potencial. Los límites de presión deben respetarse estrictamente para evitar que el diafragma se dañe, por lo que será necesario instaurar un programa de inspecciones que vele por su buen estado.

Aplicabilidad: Los depósitos para vapores se emplean para los vapores de algunos productos del petróleo. El nivel de presión de los tanques conectados al sistema de compensación del vapor debe ser el adecuado para el correcto funcionamiento del sistema.

Los depósitos para vapores también pueden emplearse para el almacenamiento flotante (véase el apartado 3.1.18). Si el tanque del buque está conectado a un sistema situado en la orilla, las canalizaciones que conducen el vapor deberán incorporar secciones flexibles para adaptarse al movimiento provocado por las olas y las mareas.

Cuestiones de seguridad: Los vapores en movimiento pueden tener un elevado potencial de riesgo, en especial si son inflamables. Los riesgos aumentan asintóticamente con el número de tanques. Las cuestiones relativas al diseño son primordiales en este caso. También existe potencial de bloqueo de los supresores de explosiones. Asimismo, deberá tener en cuenta la electricidad estática, en particular la asociada al diafragma.

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: La instalación de un depósito para vapores es una técnica de coste medio-elevado. Los costes más significativos dependen de las instalaciones, en concreto del diseño de los tanques existentes.

Bibliografía de referencia: [113, TETSP, 2001]

4.1.3.15. TRATAMIENTO DE GASES

Introducción: Los sistemas de tratamiento de gases se describen de forma detallada en el BREF relativo a la gestión y tratamiento común de aguas y gases residuales en la industria química (BREF CWW), véase la referencia [147, EIPPCB, 2002]. Las tecnologías de tratamiento aplicables a los sistemas de tratamiento de las emisiones de tanques de gasolina, con sus respectivos límites de aplicación y costes normalizados, tal como figuran en el BREF CWW, se muestran en la Tabla 4.3.

En esta introducción, los límites de aplicación y los costes calculados para las técnicas incluidas en la Tabla 4.3 se comparan con las tecnologías actualmente disponibles para el tratamiento de las emisiones de COV generadas por los tanques de almacenamiento de gasolina.

Límites de aplicación correspondientes al vapor de gasolina

Los vapores procedentes de tanques que contienen gasolina o compuestos de gasolina pueden alcanzar una concentración de saturación, es decir, una concentración atmosférica de COV de hasta el 40 % del volumen, equivalente en peso a aproximadamente 1200 g/m³.

El flujo de vapor generado por los tanques de techo fijo es consecuencia del desplazamiento provocado por el llenado del tanque y su respiración, que se debe en primer lugar al calentamiento solar, lo que explica que se produzcan expansiones en el espacio para vapor del tanque.

Las velocidades de llenado características de un tanque desde un buque son de aproximadamente 600 m³/h. Las velocidades de llenado desde canalizaciones pueden ser superiores.

Puede llevarse a cabo una estimación aproximada de las velocidades de respiración de un tanque pintado de color blanco a partir de la siguiente fórmula:

$$F = 0,1 V/6 \text{ (donde } F \text{ es la velocidad de respiración en m}^3\text{/h y } V \text{ el espacio para vapor del tanque, también en m}^3\text{)}$$

De esta manera, en un tanque de 10 000 m³ casi vacío que se llenara a lo largo de un día con luz del sol constante, los flujos de vapor máximos posibles de los orificios de venteo serían del orden de 600 m³/h a causa del llenado y de 170 m³/h a causa de la respiración, lo que sumaría un total de 770 m³/h.

Comparación con los límites de aplicación de las tecnologías recogidas en el BREF CWW

La comparación de los flujos calculados arriba con los datos de la Tabla 4.3 indica que las únicas tecnologías que serían adecuadas teniendo en cuenta las distintas

condiciones de flujo y concentración para el tratamiento de las emisiones de vapor de los tanques de gasolina serían la separación a través de membranas selectivas y, posiblemente, la condensación y absorción. Sin embargo, todas las tecnologías que aparecen en la lista de la Tabla 4.3 están disponibles para el tratamiento de las emisiones de vapor generadas por la gasolina.

Comparación con los datos de costes de las tecnologías recogidas en el BREF CWW

Los costes que figuran en el BREF CWW están normalizados; es decir, su coste en euros se expresa en m^3/h de caudal de vapor, con lo que se asume que los costes del sistema son directamente proporcionales al caudal, sin relación con la concentración.

En la práctica, sin embargo, en los sistemas de recuperación de vapor de gasolina, la curva de costes respecto al caudal no es una línea recta que atraviesa el punto «cero». Los costes característicos de un sistema son proporcionales al caudal máximo elevado a la potencia de 0,65. La experiencia del sector del petróleo en la instalación de unidades de recuperación de vapor para el cumplimiento de la legislación europea ha demostrado que los costes de capital frente a la curva de tamaño de los URV tienden a ser de aproximadamente 300 000 EUR cuando el caudal tiende a ser cero. Los costes de instalación dependen de cuestiones específicas del emplazamiento, pero pueden tener el mismo orden de magnitud que el coste unitario.

Así pues, normalizar los costes podría inducir a error si los datos de costes se han obtenido a partir de sistemas con un rendimiento muy elevado. Los costes de los sistemas convencionales de condensación y absorción que constan en la Tabla 4.3 son de al menos un orden de 100, excesivamente bajo para los equipos utilizados con la gasolina. Ello podría deberse a que los costes básicos empleados corresponden a un sistema con un caudal muy elevado a concentraciones de flujo muy bajas.

Teniendo en cuenta lo dicho en el párrafo anterior, aludir únicamente al BREF CWW no sería suficiente. El BREF CWW proporciona datos técnicos de referencia apropiados para las tecnologías de tratamiento de las emisiones de gases residuales y su selección. Sin embargo, al parecer la mayoría de aplicaciones analizadas para el tratamiento de gases residuales en el BREF CWW corresponden a flujos muy superiores y/o a concentraciones de COV mucho más bajas que las que se dan en los orificios de venteo de los tanques de almacenamiento de gasolina. Así pues, hacer referencia a la aplicabilidad y los costes de las distintas tecnologías de control del BREF CWW no sería apropiado al considerar el control de las emisiones de los tanques.

Descripción y aplicabilidad: Los sistemas de tratamiento de gases de final de línea requieren la recogida de los gases y su alimentación a un oxidante térmico

o unidad de recuperación de vapores (URV) a través de canalizaciones. El tratamiento de gases sólo es viable cuando las emisiones pueden captarse y conducirse hacia el sistema de tratamiento, por ejemplo desde los orificios de venteo de los tanques de techo fijo. Los conductos requieren someterse a las mismas consideraciones que los sistemas de compensación de vapor (véase el apartado 4.1.3.13).

El tratamiento de gases también es viable en el caso del almacenamiento flotante (véase el apartado 3.1.18). Si el tanque del buque está conectado a un sistema de tratamiento de gases situado en la orilla, las canalizaciones que conducen los gases deberán incorporar secciones flexibles para adaptarse al movimiento provocado por las olas y las mareas.

Tabla 4.3: Tecnologías de tratamiento de las emisiones: limitaciones de aplicabilidad y costes normalizados según constan en el BREF CWW [153, TETSP, 2002] [147, EIPPCB, 2002]

Procedimiento de recuperación y procesos de COV	Nivel de concentración del flujo de COV considerado apto por volumen	Nivel de concentración del flujo de COV considerado apto por masa	Nivel del caudal de COV considerado apto (Nm ³ /h)	Coste de inversión en EUR/m ³ /h
Separación a través de membrana selectiva	Hasta el 90 %	<i>Hasta 2700 g/m³</i> <i>1)</i>	Depende del área de la membrana, aunque según algunos datos hasta 3000	300 (sistema de 200 m ³ /h)
Condensación convencional	más o menos saturada	± 1200 g/m ³	100 a 100 000	5
Condensación criogénica	No indicada	No indicada	Hasta 5000	500
Adsorción	Hasta el 25 % del límite de explosividad inferior (LEI)	<i>Hasta 12 g/m³</i> <i>1)</i>	100 a 100 000	240 (sistema de regeneración incluido)
Absorción (reactores)	No indicada	No indicada	50 a 500 000	7 a 37 en el caso del lecho fijo (el sistema de coste más elevado)
Oxidación térmica normal	Hasta el 25 % del límite de explosividad inferior (LEI)	<i>Hasta 12 g/m³</i> <i>1)</i>	900 a 86 000	3 a 65
Antorchas	0 a 100 % del LEI con diseño de seguridad	<i>Hasta 50 g/m³</i> <i>1)</i>	Hasta 1 800 000	9 a 625 en el caso de antorchas elevadas

Nota 1): Los datos que aparecen en cursiva se basan en cifras del BREF CWW a partir de un valor de densidad del vapor de la gasolina de 3 kg/m³

Las tecnologías de reducción de las emisiones de COV a la atmósfera para los procedimientos de almacenamiento son las siguientes:

- oxidación de los gases expulsados por los calentadores del proceso, incineradores especialmente diseñados, motores de gas o antorchas;
- recuperación de hidrocarburos del gas expulsado de una unidad de recuperación de gases (URV) que emplee tecnologías como la adsorción, absorción, separación mediante membrana y condensación.

Al aplicar la recuperación del vapor, los hidrocarburos presentes en la mezcla aire/vapor de hidrocarburo desplazada durante las operaciones de carga, se recuperan para posteriores reutilizaciones. Las tecnologías de recuperación del vapor implican dos procesos:

- separación de los hidrocarburos del aire;
- licuación de los vapores de hidrocarburo separados.

Los procesos de separación que pueden utilizarse para aislar los vapores de hidrocarburos del aire son los siguientes:

- adsorción por cambio de presión a través de carbón activado;
- absorción por medio del lavado en un fluido absorbente de baja volatilidad;
- separación a través de membranas selectivas;
- condensación por enfriamiento o compresión (se trata de un caso especial, ya que la separación y la licuación se combinan en un único proceso).

Los procesos de licuación válidos para los vapores de hidrocarburos separados son los siguientes:

- reabsorción, normalmente en el mismo producto,
- condensación sobre una superficie fría,
- compresión.

A continuación se indican los sistemas de URV más utilizados:

- adsorción por cambio de presión en lecho doble,
- absorción líquida en frío en una corriente pobre en aceite,
- condensación indirecta de líquidos en un intercambiador de calor refrigerante,
- separación por membranas a través de una superficie selectiva para hidrocarburos.

Beneficios ambientales obtenidos: La eficacia de las distintas tecnologías depende del producto en cuestión; por ejemplo, la eficacia de la adsorción por medio

de carbón activado es muy superior en el caso del butano que en el del metano. La eficacia del incremento de la reducción de las emisiones generales puede aumentar utilizando dos sistemas sucesivos, por ejemplo una membrana en la primera fase seguida de un oxidante térmico como segunda fase para controlar adicionalmente las emisiones generadas en la primera fase. Sin embargo, la reducción acumulada de las emisiones puede ser pequeña si se compara con la utilización de un proceso de una única fase. Por ejemplo, las URV de fase única utilizadas con la gasolina pueden alcanzar una eficacia media del 99 %. Incorporar al proceso una segunda fase serviría para eliminar un 0,9 % adicional. Así pues, los costes de capital y de explotación derivados de la habilitación de una segunda fase proporcionan una efectividad en la reducción de las emisiones por tonelada muy baja. Además, las unidades utilizadas en la segunda fase generan emisiones atmosféricas adicionales, por ejemplo CO₂ indirecto a causa del consumo de electricidad o bien NO_x si se utiliza un oxidante externo, que deberán revisarse en relación con el nivel de reducción de las emisiones de COV alcanzado.

Información operativa: En Alemania, la TA Luft determina que los puntos de emisión deberían estar conectados a una instalación de tratamiento de gases, un conducto de recogida del vapor o una unidad de recuperación de vapor para el almacenamiento y la manipulación de los siguientes líquidos:

- productos líquidos con sustancias orgánicas y una presión de vapor superior a 1,3 kPa (a 20 °C) o bien
- sustancias de clasificación especial que superan los valores límite especificados:
 - o contenido másico de más del 1 % de sustancias orgánicas como, por ejemplo, fenol, tetracloroetileno, eteno y cloropropeno;
 - o contenido másico de más del 1 % de sustancias carcinogénicas como la acrilamida, el acrilonitrilo, el benceno y el 1,3-butadieno;
 - o contenido másico de más del 1 % de sustancias tóxicas para la reproducción distintas de las mencionadas en los dos puntos anteriores;
 - o contenido másico de más de 10 mg/kg de sustancias carcinogénicas como el benzo(a)pireno, el cadmio y el arsénico;
 - o contenido másico de más de 10 mg/kg de sustancias mutagénicas distintas de las mencionadas arriba o bien;
 - o determinadas dioxinas y furanos concretos.

Las emisiones de una instalación de tratamiento de gases deberían situarse por debajo de los límites que figuran en la Tabla 4.4

Las Directrices de los Países Bajos en materia de emisiones atmosféricas son similares a las normas de la TA Luft alemana; sin embargo, los tratamientos de gases sólo deberían implantarse, en base a cuestiones de rentabilidad, cuando las emisiones son calificadas de significativas. Una emisión se considera significativa cuando, respecto a todo un año, las emisiones generadas por una fuente discontinua superan

en 1000 veces el valor correspondiente al flujo másico de una hora. Por ejemplo, en el caso de sustancias que entran dentro de la categoría de COV menos tóxicos como el metanol, el límite de emisión es de 500 g/h y el valor anual correspondiente que determina que es significativa es de 500 kg/año. Para algunas sustancias extremadamente peligrosas como las dioxinas y los furanos se establece un límite de emisiones de 0,1 ng TEQ/m³ cuando el flujo másico es de como mínimo 20 mg/año.

Tabla 4.4: Sustancias tratadas en una instalación de tratamiento de gases [179, UBA Alemania, 2004]

Categoría	Ejemplo de sustancia	Límite de emisiones para la suma de todas las sustancias de cada categoría	
		flujo másico (g/h)	concentración (mg/m ³)
COV	Metanol	500	50 mg COT/m ³
	Tetracloroetileno	100	20 mg sustancia/m ³
	1,1,1-tricloroetano	500	100 mg sustancia/m ³
Sustancias carcinogénicas/mutagénicas/tóxicas para la reproducción			
	Benzo(a)pireno	0,15	0,05
	Acilonitrilo	1,5	0,5
	Benceno	2,5	1
Dioxinas/furanos			
	Dioxina	0,25 µg/h	0,1 ng/m ³

Bibliografía de referencia: [113, TETSP, 2001, 153, TETSP, 2002] [147, EIPPCB, 2002] [179, UBA Alemania, 2004] [180, Países Bajos, 2004].

4.1.3.15.1. *Oxidación térmica*

Descripción: Los oxidantes térmicos convierten las moléculas de hidrocarburo en CO₂ y H₂O por oxidación. Para lograrlo puede recurrirse a la oxidación térmica a alta temperatura (950 °C), en sistemas de antorcha u hornos, o a la oxidación catalítica a baja temperatura (450 °C). La incineración catalítica es más adecuada para flujos con una baja concentración de hidrocarburos. El tiempo de residencia del gas en el interior del oxidante es un factor importante en ambos sistemas. La oxidación de los hidrocarburos requiere utilizar un combustible de apoyo que permita realizar el proceso, de modo que se generan emisiones atmosféricas adicionales (por ejemplo de CO₂ y NO_x).

En determinadas circunstancias, el empleo de la oxidación puede ser la única tecnología efectiva disponible para reducir las emisiones a la atmósfera, en especial cuando existen vapores de diferentes fuentes que podrían combinarse y dar lugar

a una mezcla de compuestos incompatibles. La posibilidad de producir calor recuperable podría compensar la liberación de contaminantes al entorno y los costes. **Información operativa:** Esta técnica es razonablemente fácil de utilizar. Deben observarse las limitaciones provocadas en el índice de rechazos. Se requiere la utilización de combustible de apoyo.

Aplicabilidad: Durante la fase de diseño del sistema debe preverse un margen de seguridad respecto al espacio de trabajo, los límites y otras partes de la planta. Esta técnica puede utilizarse simultáneamente con una gran cantidad de productos y de caudales, si bien la estabilidad de la llama es sensible a las variaciones de flujo.

Cuestiones de seguridad: La técnica implica un potencial de riesgo elevado al estar situada la fuente de ignición al final de la línea de gas. Por ello los dispositivos de seguridad deben ser muy fiables. El bloqueo potencial de los supresores de explosiones requiere un diseño especializado.

Energía/residuos/efectos cruzados: La oxidación térmica genera luz, calor y ruido junto con CO_2 , NO_x y otros productos de combustión. También se necesita una cantidad pequeña pero constante de combustible de apoyo.

Aspectos económicos: La oxidación térmica es una opción de coste medio-elevado. Los costes pueden ser significativos dependiendo de las características concretas de la planta e incluir, además, el sobre coste de un sistema de combustible adicional.

Bibliografía de referencia: [113, TETSP, 2001, 153, TETSP, 2002] [147, EIPPCB, 2002]

4.1.3.15.2. *Adsorción*

Descripción: En el proceso de adsorción las moléculas de hidrocarburo se adhieren físicamente a zonas activas situadas en la superficie de elementos sólidos, por ejemplo carbón activado o zeolita. Puesto que el carbón tiene una capacidad de adsorción limitada, en procesos continuos se requiere disponer de dos torres («lechos») que contengan el carbón activado y se pongan en marcha cíclicamente, normalmente transcurrido cierto tiempo, entre los modos de adsorción y regeneración. La regeneración de la actividad del carbón puede llevarse a cabo a partir de los siguientes procesos:

- regeneración mediante vapor;
- regeneración por vacío de aire con una bomba de vacío;
- regeneración por vacío de aire con una bomba de vacío y un compresor roots.

Si se utiliza vapor a baja presión seguido de un proceso de secado, la actividad del carbón puede recuperarse por completo. Sin embargo, el carbón volverá, en principio, a ser hiperactivo, lo que podría provocar una liberación excesiva de «calor de adsorción» durante el proceso y la formación de «puntos calientes». Para evitar que la temperatura ascienda a niveles peligrosos, el carbón requiere un proceso de humedecimiento que permita utilizarlo en condiciones seguras una vez finalizada la regeneración mediante vapor. Ello hace que este principio de regeneración sea menos adecuado para la adsorción por cambio de presión en lecho doble que se aplica en los sistemas de recuperación de gases de los tanques.

La regeneración por vacío de aire a través de una única bomba de anillo líquido extrae la mayoría, aunque no la totalidad, de las moléculas de hidrocarburo del carbón activado saturado. Esta regeneración parcial de la actividad del carbón garantiza que no se convierta en hiperactivo y evita problemas de formación de «puntos calientes». El uso de compresores de lóbulos rectos unidos a una bomba de vacío puede proporcionar una regeneración asistida de aire. De este modo se logra una presión absoluta mucho más baja en el sistema y, por tanto, una mayor separación de los hidrocarburos del carbón activado saturado. Con todo, esta profunda regeneración puede provocar que el carbón activado se vuelva más sensible al sobrecalentamiento si determinados vapores incompatibles, como por ejemplo las cetonas, se alimentan al carbón recién regenerado.

El proceso de adsorción utiliza una serie de válvulas que se abren y se cierran automáticamente de forma secuencial, normalmente transcurrido un intervalo de 12 o 15 minutos. Las unidades deberán revisarse, pues, diariamente para que su funcionamiento sea eficiente y continuado y para realizar el mantenimiento rutinario.

Información operativa: Esta técnica es un proceso automático que no requiere intervención humana, pero sí personal formado para su puesta en marcha y mantenimiento.

Aplicabilidad: La aplicabilidad está limitada a causa de las reacciones exotérmicas de algunos productos. Otros fluidos como el petróleo crudo con contenido de H_2S presentan problemas potenciales de formación de subproductos en el lecho. Es aplicable a una gran variedad de caudales y puede diseñarse para muchos productos distintos, aunque compatibles.

Cuestiones de seguridad: Esta técnica presenta potencial de riesgo en caso de reacción exotérmica descontrolada.

Energía/residuos/efectos cruzados: Existe potencial de generación de residuos en el proceso de regeneración. El uso de energía es elevado e implica la producción de CO_2 . La sustitución del carbón es necesaria de forma periódica, pero no frecuente.

Aspectos económicos: La adsorción es una técnica de costes elevados, tanto en gastos de capital como de explotación.

Bibliografía de referencia: [113, TETSP, 2001, 153, TETSP, 2002] [147, EIPPCB, 2002]

4.1.3.15.3. *Absorción ('lavado')*

Descripción: En el proceso de absorción, el gas entrante queda absorbido en una corriente de absorbente de baja volatilidad («pobre»). El absorbente empleado depende de la composición de los vapores y de la eficacia de recuperación necesaria. Así, es posible que el absorbente deba enfriarse para reducir su volatilidad y, por tanto, sus cualidades absorbentes. Por ejemplo, el absorbente utilizado con la gasolina es el queroseno, a una temperatura de aproximadamente -25 a -30 °C. La gasolina fría también podría servir como absorbente, pero su elevada volatilidad provocaría una disminución de la eficiencia del proceso.

Cuando las corrientes absorbentes se encuentran a una temperatura inferior a 0 °C puede existir potencial de bloqueo a causa de la formación de hielo en caso de que entre el gas haya vapor de agua. Para solucionar este problema puede llevarse a cabo una inyección de metanol.

En función del proceso puede que sea necesario separar el gas del absorbente. En el caso de la gasolina ello se consigue calentando la mezcla de queroseno/gasolina recuperada en un intercambiador de calor y reabsorbiendo posteriormente el gas rico en gasolina en gasolina líquida.

Beneficios ambientales obtenidos: Se tienen datos de un absorbente con contenido de terpenos capaz de absorber COV con una eficacia del 99 %. Este fluido también es bastante efectivo a la hora de absorber olores y funciona a temperatura ambiente (entre -10 y 40 °C).

Información operativa: Esta técnica es un proceso automático que no requiere intervención humana, pero sí personal formado para su puesta en marcha y mantenimiento. Existen numerosos diseños, desde simples reactores a sistemas mecánicamente complejos que requieren un mantenimiento considerable. También existe una instalación móvil especialmente indicada para limpiar tanques, camiones y buques cisterna.

Aplicabilidad: La absorción es aplicable a una gran variedad de caudales y puede diseñarse para muchos productos distintos, aunque compatibles.

Cuestiones de seguridad: Ninguno aparte de la manipulación de gases a menos que se empleen como absorbentes sustancias químicas potencialmente peligrosas.

Energía/residuos/efectos cruzados: Existe potencial de generación de residuos en el proceso, por ejemplo de aguas residuales contaminadas. La absorción puede implicar un uso elevado de energía, con una generación indirecta de CO₂, aunque la absorción de COV según se describe más arriba requiere menos energía que la incineración o el enfriamiento a bajas temperaturas. El absorbente debe sustituirse de forma periódica.

Aspectos económicos: La absorción es una técnica de coste medio-elevado, dependiendo de la complejidad del proceso. El fluido de absorción de COV indicado anteriormente puede separarse de las sustancias absorbidas y reciclarse cierto número de veces, en función del uso. Los COV recuperados pueden reintroducirse (si se trata de un flujo único) en el proceso o devolverse a las instalaciones de almacenamiento.

Bibliografía de referencia: [113, TETSP, 2001, 153, TETSP, 2002] [147, EIPPCB, 2002] [176, EIPPCB Ineke Jansen, 2004]

4.1.3.15.4. *Condensación*

Descripción: En este proceso, los vapores se condensan sobre la superficie de un intercambiador de calor frío. La temperatura de este intercambiador depende del punto de ebullición del producto y de la eficacia de recuperación requerida. Por ejemplo, en el caso de la gasolina, la temperatura del condensador suele ser de unos -80 °C. Para aumentar la eficacia puede acudirse a una segunda fase (por ejemplo un condensador criogénico a base de nitrógeno líquido) para recuperar los hidrocarburos presentes en el «gas de cola».

También existen sistemas que utilizan, además de la condensación criogénica por medio de nitrógeno líquido, un fluido refrigerante integrado que permite recuperar una amplia variedad de COV. Con esta técnica, el intercambio de calor directo entre el nitrógeno líquido y los vapores sometidos a tratamiento provocaría problemas operativos en la unidad de recuperación a causa de la solidificación de la mayor parte de los hidrocarburos por las temperaturas bajas tan extremas. Para evitar este problema se emplea un fluido refrigerante entre el nitrógeno líquido y los vapores transportados. La temperatura de este fluido refrigerante se ajusta en función de la naturaleza del compuesto que va a licuarse.

Información operativa: Esta técnica es un proceso automático que no requiere intervención humana, pero sí personal formado para su puesta en marcha y mantenimiento. Los diseños son mecánicamente complejos y requieren un mantenimiento considerable.

Aplicabilidad: Existen sistemas que pueden aplicarse a la industria del refino, farmacéutica o química para tratar las pérdidas de gases producidas durante la carga, descarga, almacenamiento y manipulación de compuestos orgánicos.

La varianza del flujo ha de evitarse para garantizar una condensación eficaz. Es posible que se produzcan problemas de congelación/descongelación en sistemas que no dispongan de fluidorefrigerante. Los distintos tipos de productos que pueden tratarse se circunscriben a los límites de temperatura propios del diseño del equipo.

Cuestiones de seguridad: Ninguno aparte de la manipulación de gases. El uso del equipo a temperaturas muy bajas podría provocar lesiones al personal en caso de exposición al líquido refrigerante (por ejemplo nitrógeno licuado) o al producto recuperado en caso de fuga. Muchos hidrocarburos ligeros forman hidratos sólidos a temperatura subambiente que podrían llegar a bloquear el condensador y los correspondientes conductos. También es posible que haya que hacer frente a problemas de polimerización.

Energía/residuos/efectos cruzados: Existe potencial de generación de residuos en el proceso, por ejemplo de aguas residuales contaminadas a causa de la descongelación y de las pérdidas de refrigerante. También puede implicar un uso elevado de energía, con una generación indirecta de CO₂, que podría ser todavía más alto si se utilizan condiciones criogénicas. Será necesario realizar llenados de refrigerante periódicos. Algunos refrigerantes son sustancias destructoras de la capa de ozono.

A pesar de todo, existen sistemas en los que no se genera contaminación secundaria (por ejemplo gases ácidos, emisiones de CO₂, aguas residuales, óxidos de nitrógeno, dioxinas, etc.). Los gases de nitrógeno producidos durante el proceso de recuperación de gases pueden utilizarse para inertizaciones.

Aspectos económicos: La condensación es una opción de coste elevado, en función de la complejidad del proceso.

Bibliografía de referencia: [113, TETSP, 2001, 153, TETSP, 2002] [147, EIPPCB, 2002] [162, GRS Europe, 2002]

4.1.3.15.5. *Separación a través de membranas*

Descripción: La tecnología de membranas permite separar las moléculas de hidrocarburo del aire haciendo que la mezcla de vapor/aire atraviese una membrana en la que los hidrocarburos tienen permeabilidad preferente. La eficacia del proceso de separación depende del diferencial de presión del otro lado de la membrana. Así, se emplea un compresor para crear mayor presión en la entrada a la unidad de la membrana y una bomba de vacío para rebajar la presión en el lado permeable de la membrana.

La tecnología de separación a través de membranas tiene unos costes de explotación elevados al requerir un doble equipo de tratamiento de gases, es decir, una bomba de vacío de anillo líquido y un compresor. Se adapta bien a sistemas con grandes volúmenes de gas gracias al uso del compresor en la entrada a la unidad de membrana. Por ello resulta apropiada para sistemas de compensación de vapor de tanques de techo fijo.

Información operativa: Esta técnica es un proceso automático que no requiere intervención humana gracias al uso de tecnologías relativamente nuevas, aunque los requisitos de mantenimiento son elevados.

Aplicabilidad: Se requieren grandes volúmenes de gas aguas arriba (fijos) a causa de la necesidad de emplear un compresor en cabeza de línea. La cantidad de productos que pueden someterse a tratamiento se ve limitada por el diseño de la membrana.

Cuestiones de seguridad: Al utilizar la unidad de membrana un compresor de entrada, los sistemas de gases deben estar protegidos frente al vacío.

Energía/residuos/efectos cruzados: Existe potencial de uso de energía muy elevado (generación indirecta de CO₂).

Aspectos económicos: La separación a través de membranas es una técnica de costes elevados, tanto en gastos de capital como de explotación.

Bibliografía de referencia: [113, TETSP, 2001, 153, TETSP, 2002] [147, EIPPCB, 2002]

4.1.3.16. COMPATIBILIDAD (OPERATIVA) DE LAS MCE PARA LAS EMISIONES DE GAS

No todas las medidas de control de las emisiones descritas en el anterior apartado 4.1.3. pueden utilizarse de forma conjunta. Por ejemplo, las cúpulas sólo son una opción para los TTFE y, por tanto, no son compatibles con una MCE utilizada en un TTF, por ejemplo un techo de flotación interna. La Tabla 4.5 muestra la compatibilidad entre las MCE, y la Tabla 4.6 las MCE características de los distintos sistemas de almacenamiento.

4.1.4. MCE (operativas) para tanques: emisiones líquidas

Las medidas de control de las emisiones líquidas se dividen en dos grupos principales: MCE para vertidos potenciales al suelo a causa de actividades previstas y vertidos no previstos. Este apartado analiza las MCE para vertidos potenciales provocados por operaciones habituales como el drenaje o la limpieza. El apartado 4.1.6 trata de las MCE correspondientes a vertidos infrecuentes y no previstos como, por ejemplo, sobrellenados en los tanques.

4.1.4.1. DRENAJE MANUAL

Descripción: Los tanques pueden drenarse manualmente sin problemas si se presta la debida atención. Es necesario actuar con precaución al hacerlo, en especial si son tanques con el fondo en forma cónica descendente y un conducto de vaciado fijo, ya que el conducto estará lleno de petróleo (o del producto almacenado) cuando el agua restante sea extraída y las posteriores extracciones de agua deberán desplazar antes el producto.

Una técnica alternativa consistiría en la automatización del proceso, ya que limitaría el arrastre de los sólidos. Para ello pueden instalarse sistemas de válvula de drenaje automáticos o semiautomáticos en los tanques.

El agua drenada de un tanque normalmente se recoge a través de un sistema de drenaje o de desagüe donde se somete a tratamientos posteriores. Drenar directamente al suelo no es una práctica aceptable.

La velocidad de vaciado del agua puede influir en las emisiones. Si se abre la válvula rápidamente y el caudal es elevado se podría crear un torbellino que arrastraría al sistema de drenaje tanto agua como petróleo. En muchas plantas las válvulas de drenaje se accionan manualmente y se inspecciona visualmente el líquido purgado para determinar cuando detener el drenaje. Éste finaliza normalmente cuando el agua contiene menos de un 10 % de petróleo. Sin embargo, este límite podría superarse, lo que provocaría que entraran en el sistema de aguas residuales cantidades significativas de petróleo.

El drenaje manual cuidadosamente ejecutado sigue siendo una opción viable en muchas plantas que almacenan petróleo crudo, si bien puede ser extremadamente lento. Además, es prácticamente imposible eliminar todos los restos de contaminación del agua aunque se realice adecuadamente. De forma indirecta acabarán generándose emisiones atmosféricas de hidrocarburo durante el proceso de drenaje de los fondos de agua. Los análisis han mostrado que el 30 % de los hidrocarburos que entran en los sistemas de drenaje se perderán a través de la evaporación. Por ello, la minimización de las pérdidas de producto en el agua de drenaje permitirá reducir el nivel de emisiones.

Información operativa: Drenar manualmente los tanques no es difícil, pero requiere tiempo y actuar con cautela.

Aplicabilidad: El drenaje manual de los tanques es una técnica ampliamente utilizada.

Cuestiones de seguridad: Cualquier procedimiento de drenaje de tanques puede liberar potencialmente grandes cantidades de producto líquido al sistema de desagüe o al dique de contención del tanque si no se realiza apropiadamente o se inspecciona regularmente.

Energía/residuos/efectos cruzados: Riesgo potencial de generación de grandes cantidades de residuos, además de posibles efectos cruzados.

Bibliografía de referencia: [41, Concawe, 1999] [113, TETSP, 2001]

4.1.4.2. VÁLVULAS DE DRENAJE DE TANQUES SEMIAUTOMÁTICAS

Descripción: Las válvulas de drenaje de tanques semiautomáticas reciben este calificativo porque deben reajustarse antes de cada proceso de drenaje. Existen equipos comerciales para productos con densidades considerablemente diferentes a la del agua; la diferencia de densidad es lo que determina los procedimientos de drenaje.

Estos equipos normalmente consisten en una pequeña cámara, dotada de una entrada unida al conducto de drenaje del tanque y una salida que desemboca en el sistema de desagüe, y un flotador. Cuando la válvula de entrada se abre, la cámara se llena del agua del fondo del tanque provocando que el flotador (de acero hueco con lastre de petróleo) ascienda. El operador puede dejar en este momento el proceso sin vigilancia. Es posible que sea necesario preparar las válvulas para el invierno en determinados climas.

Cuando el producto empieza a entrar en la cámara el flotador desciende hasta acoplarse a una junta anular, cerrando la válvula.

Un método alternativo consiste en utilizar un sensor de hidrocarburo en lugar del flotador. Sin embargo, este elemento tiene que ser sustituido después de cada drenaje, por lo que la técnica resulta más adecuada para tanques que no requieren purgas frecuentes.

Información operativa: Posibles problemas potenciales:

- limpieza: el flotador puede atascarse si entra suciedad en la cámara. Se trata de una desventaja considerable, ya que si la válvula se encalla en posición abierta

dejará penetrar el producto en el sistema de drenaje

- cierre prematuro: la válvula puede cerrarse prematuramente si la formación de remolinos arrastra el producto antes de que haya concluido el drenaje o si el caudal desciende.

Aplicabilidad: Las válvulas de drenaje de tanques semiautomáticas tienen una aplicabilidad elevada, aunque para que su rendimiento sea bueno se requiere que el producto esté limpio y tenga una densidad lo suficientemente distinta de la del agua.

Cuestiones de seguridad: Cualquier procedimiento de drenaje de tanques puede liberar potencialmente grandes cantidades de producto líquido al sistema de desagüe o al dique de contención del tanque si no se realiza apropiadamente o se inspecciona regularmente.

Energía/residuos/efectos cruzados: Riesgo potencial de generación de grandes cantidades de residuos, además de posibles efectos cruzados.

Aspectos económicos: Las válvulas de drenaje de tanques semiautomáticas no utilizan energía y tienen unos costes de instalación mínimos. Representan la alternativa más económica al drenaje manual.

Bibliografía de referencia: [41, Concawe, 1999] [113, TETSP, 2001]

4.1.4.3. VÁLVULAS DE DRENAJE DE TANQUES AUTOMÁTICAS

Descripción: Las válvulas de drenaje de tanques automáticas están diseñadas para que las intervenciones del operador se reduzcan al mínimo, y ello hace que sea significativamente más caras que los sistemas semiautomáticos. Además, necesitan disponer de una fuente de energía en el tanque.

Existen distintos tipos de válvulas con diferentes características. Por ello es indispensable elegir bien.

Medidores de radiación electromagnética

Los medidores de la radiación electromagnética se utilizan para medir el contenido de hidrocarburos del agua que se va a drenar. El medidor envía microondas al fluido y calcula cuánta energía es absorbida por éste. Puesto que el agua absorbe más las microondas, resulta posible cuantificar la concentración de hidrocarburos. Esta técnica puede utilizarse como unidad portátil, medidor único o medidor doble, en este caso con un medidor situado en el punto de salida del drenaje y el otro unos 600 mm por encima de la base del tanque (o a la altura recomendada). Funciona básicamente del siguiente modo: cuando el medidor superior detecta

agua, la válvula de drenaje se abre, y cuando el medidor inferior detecta petróleo, la válvula se cierra.

Medición de la constante dieléctrica

En una cámara de circulación del drenaje del tanque se coloca un capacímetro, de modo que cuando el contenido de petróleo llega a un valor máximo preestablecido, la válvula se cierra. Presenta problemas potenciales de detección a causa de la estratificación. Se necesita una interfase bien definida para que su empleo sea satisfactorio.

Medición del índice de refracción

El índice de refracción se mide a partir de fibras ópticas. En Europa no se tiene mucha experiencia en la utilización de este sistema.

Información operativa: La formación de estratos en el producto podría originar problemas a la hora de implantar esta técnica.

Aplicabilidad: El drenaje automatizado de los tanques es fácilmente aplicable, pero depende del producto almacenado.

Cuestiones de seguridad: Cualquier procedimiento de drenaje de tanques puede liberar potencialmente grandes cantidades de producto líquido al sistema de desagüe o al dique de contención del tanque si no se realiza apropiadamente o se inspecciona regularmente.

Energía/residuos/efectos cruzados: Riesgo potencial de generación de grandes cantidades de residuos, además de posibles efectos cruzados.

Aspectos económicos: Las válvulas de drenaje automáticas son equipos de costes elevados, extremadamente elevados en caso de remodelación.

Bibliografía de referencia: [41, Concauwe, 1999, 113, TETSP, 2001]

4.1.4.4. SISTEMAS ESPECIALIZADOS

Descripción: En los «sistemas especializados», los tanques y equipos se emplean con un único grupo de productos, lo que significa que no puede haber cambios en los productos. Ello permite instalar y utilizar tecnologías especialmente diseñadas para los productos almacenados (y manipulados), lo que contribuye a evitar y reducir las emisiones de forma eficaz y eficiente.

Información operativa: Se trata de una importante medida de control de las emisiones, en especial en terminales donde se almacenen muchos productos distintos.

Aplicabilidad: Depende del tipo de procesos de almacenamiento, aunque normalmente no es aplicable a instalaciones en las que los tanques se emplean para el almacenamiento a corto-medio plazo de distintos productos.

Energía/residuos/efectos cruzados: Puesto que reduce ostensiblemente las actividades de limpieza, también reduce, en consecuencia, las emisiones atmosféricas y los residuos.

Bibliografía de referencia: [130, VROM, 2002]

4.1.5. MCE para tanques: residuos

4.1.5.1. MEZCLADO DEL CONTENIDO DEL TANQUE

Descripción: «Lodos» es un término que se refiere a una mezcla semisólida de producto, agua y sólidos como, por ejemplo, arena, escamas y partículas de óxido. Los lodos crudos pueden contener todo lo mencionado, además de cristales de cera, en proporciones variables.

La precipitación de los lodos en los tanques se produce por mecanismos de difusión molecular, gravedad y reactividad química y depende de las condiciones operativas. La precipitación no suele ser uniforme y no se produce necesariamente a la misma velocidad.

La cantidad de lodos depende parcial o totalmente de los siguientes factores:

- temperatura
- tipo de producto
- tiempo de permanencia
- capacidad del mezclador
- tipo de fondo del tanque
- método de recepción (buque cisterna, canalización).

El mezclado es la mejor técnica de reducción de los lodos. El mezclado turbulento se produce cuando las partículas de fluido se mueven a diferentes velocidades creando esfuerzos cortantes, que forman los remolinos. La velocidad a la que esto se produce determina el nivel de mezclado.

Se utilizan dos tipos de mezcladores:

- centrífugos
- de inyección.

Para evitar la precipitación de los lodos, el mezclador debe estar colocado en una posición que permita aplicar el flujo máximo más económico a través del fondo del tanque. La mejor opción es utilizar mezcladores cuyo ángulo giratorio pueda modificarse. Los tanques de mayor tamaño requieren el uso de varios mezcladores. Cuando se utiliza más de un mezclador, la separación recomendada se encuentra entre los 22,5 y los 45°, con todos los mezcladores situados en un cuadrante de 90° para minimizar la precipitación de los lodos.

En el pasado, e incluso actualmente, se empleaba aire para homogeneizar los líquidos. Si esos líquidos contienen compuestos volátiles, el resultado es un aumento de las emisiones atmosféricas a medida que el aire «separa» esos compuestos volátiles. Por lo tanto, el empleo de aire para la homogeneización de líquidos no se considera MTD.

Aplicabilidad: Los mezcladores centrífugos son los más utilizados, si bien los de inyección tienden a ser más eficaces.

Aspectos económicos: Los mezcladores centrífugos suelen ser más baratos en el momento de adquirirlos, pero su utilización es más cara (hasta cuatro veces más en el caso de mezcladores de entrada lateral, ya que requieren un mínimo de energía para crear el movimiento del fluido necesario para que se inicie el proceso de mezclado). Los mezcladores de inyección tienden a ser más eficaces y tienen unos costes de funcionamiento más bajos.

Bibliografía de referencia: [41, Concauwe, 1999] [176, EIPPCB Ineke Jansen, 2004]

4.1.5.2. EXTRACCIÓN DE LODOS

Descripción: Cuando la altura que ocupan los lodos en el tanque alcanza niveles inaceptables y no puede reducirse por medio de técnicas de mezclado (véase el apartado 4.1.5.1) resulta indispensable limpiar el tanque. Se han desarrollado varios métodos que evitan tener que abrir los tanques y vuelven a poner en suspensión el precipitado, con lo que las pérdidas se reducen al mínimo. Estos métodos se basan en el uso de aditivos químicos, centrifugación o circulación del producto.

Los sistemas actuales de extracción de sólidos acumulados en los tanques donde se almacena petróleo crudo implican la retirada del servicio operativo y, una vez descargado el material acumulado, una purga del interior para eliminar cualquier posible atmósfera peligrosa. A continuación, el fondo de lodos se retira manualmente y se elimina de modo seguro (por ejemplo mediante incineración).

Bibliografía de referencia: [41, Concauwe, 1999]

4.1.6. MCE para tanques: incidentes y accidentes (graves)

4.1.6.1. GESTIÓN DE LA SEGURIDAD Y DEL RIESGO

La Directiva Seveso II (Directiva 96/82/CE del Consejo relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas) requiere que las empresas adopten todas las medidas necesarias para prevenir y limitar las consecuencias de los accidentes graves. Deberán, en cualquier caso, contar con una política de prevención de accidentes graves (PPAG) y un sistema de gestión de la seguridad para implantar la PPAG. Las empresas que alberguen grandes cantidades de sustancias peligrosas, los llamados establecimientos de nivel superior, deberán además redactar un informe de seguridad y un plan de emergencia interno, así como mantener una lista actualizada de las sustancias.

Descripción: El sistema de gestión de la seguridad sirve para estructurar la PPAG. Un sistema de gestión de la seguridad incluye lo siguiente:

- una exposición de las tareas y responsabilidades;
- una valoración de los riesgos de accidentes graves;
- una descripción de los procedimientos e instrucciones de trabajo;
- planes de respuesta en caso de emergencia;
- un seguimiento del sistema de gestión de la seguridad;
- la evaluación periódica de la política adoptada.

A pesar de todo, las plantas que no entran dentro del ámbito de aplicación de la Directiva Seveso II también suelen aplicar a menudo políticas de gestión de riesgos propias desarrolladas para instalaciones que, por ejemplo, almacenan líquidos inflamables en tanques, véase la referencia [37, HSE, 1998], u otras instalaciones utilizadas para almacenar sustancias peligrosas envasadas. El nivel de detalle de estas políticas depende claramente de varios factores, entre ellos:

- las cantidades almacenadas;
- los riesgos específicos de las sustancias;
- el lugar de almacenamiento.

La evaluación del riesgo es una importante herramienta, una estructuración organizada de las actividades internas a partir de los siguientes cinco pasos:

Paso 1 identificar los riesgos;

Paso 2 determinar quién y/o qué podría resultar dañado (y/o lesionado y/o contaminado y con qué gravedad);

Paso 3 evaluar los peligros derivados de esos riesgos y decidir si las precauciones existentes son las adecuadas o si es necesario ampliarlas;

Paso 4 registrar las conclusiones más significativas;

Paso 5 revisar los procesos de evaluación periódicamente y actualizarlos en caso necesario.

Por lo que respecta al almacenamiento de líquidos inflamables en tanques, en la evaluación se incluyen los riesgos derivados del tanque así como los posibles riesgos del propio tanque a causa de fuentes externas. Los objetivos de la evaluación son los siguientes:

- minimizar el riesgo de vertido de líquido inflamable;
- minimizar el riesgo de incendio o explosión en el propio tanque;
- mitigar las consecuencias de un posible accidente, en especial respecto a los seres humanos y el medio ambiente;
- proteger el tanque de incendios externos.

Entre los factores más importantes al evaluar las instalaciones de almacenamiento destacan:

- la capacidad de almacenamiento;
- la ubicación del tanque con relación a los límites de la planta, los edificios, las áreas de proceso y las fuentes fijas de ignición;
- las normas de diseño de las instalaciones;
- la cantidad y la ubicación de los líquidos inflamables;
- la cantidad y la ubicación de otras sustancias peligrosas;
- las actividades realizadas en edificaciones adyacentes;
- la formación y la supervisión de los trabajadores de la planta;
- la frecuencia de las entregas de pedidos;
- las operaciones de carga y descarga;
- la inspección y el mantenimiento.

El gobierno de los Países Bajos ha desarrollado una aplicación de software llamada PROTEUS que determina el riesgo ambiental de los vertidos accidentales de sustancias químicas en las aguas superficiales. PROTEUS incluye el programa SERIDA, una base de datos que informa sobre las sustancias peligrosas para los seres humanos y el entorno. Las sustancias incluidas en SERIDA se seleccionaron a partir de informes de seguridad de establecimientos de los Países Bajos, la lista de la Directiva Seveso II, las listas negras tanto de la UE como de los Países Bajos y la lista del Comité Internacional para la protección del Rin.

Información operativa: El alcance y el nivel de detalle de los sistemas de gestión de la seguridad arriba descritos depende de la cantidad de sustancias almacenadas, su riesgo específico y la ubicación de los depósitos. El almacenamiento conjunto de productos de riesgo múltiple es una actividad de riesgo que requiere planteamientos de gestión muy pormenorizados y personal altamente cualificado.

Aplicabilidad: Se utiliza en toda Europa.

Aspectos económicos: No pueden determinarse.

Bibliografía de referencia: [120, VROM, 1999] [35, HSE, 1998] [36, HSE, 1998] [37, HSE, 1998] [118, RIVM, 2001] [121, CIWM, 1999]

Enlaces en Internet: <http://www.rivm.nl/serida/> <http://www.riskanalysis.nl/proteus/>

4.1.6.1.1. *Procedimientos operativos y formación*

Descripción: Adoptar medidas organizativas adecuadas es vital para el funcionamiento seguro y responsable de las instalaciones. A continuación se señalan algunas prácticas comunes:

- disponibilidad y puesta al día de los planes de respuesta en caso de emergencia y de los planes informativos con fines internos y/o para ubicaciones externas. Permiten la rápida intervención de equipos de rescate/apoyo internos y externos, lo que podría reducir las consecuencias negativa provocadas por el accidente;
- disponibilidad y cumplimiento de las instrucciones de funcionamiento. Contienen información relativa al funcionamiento de las instalaciones, por ejemplo planes de seguimiento y mantenimiento, para solucionar anomalías y para hacer frente a posibles dificultades;
- posesión por parte de la empresa de importantes datos de registro y documentación sobre el modo de almacenamiento (por ejemplo información sobre los diseños/esquemas, registros de inspección y mantenimiento, etc.);
- formación e instrucción periódicas de los empleados. A través de ellas se informa a los empleados acerca de, entre otras cosas, los peligros que podrían correr y las consecuencias potenciales para el medio ambiente.

Un programa de formación característico se compone de:

- riesgos y propiedades de los líquidos almacenados y manipulados;
- procedimientos de funcionamiento seguros para las instalaciones y los correspondientes equipos;
- objetivo de las medidas de seguridad, entre ellas la importancia de no eliminarlas o modificarlas;
- actuación en caso de detectarse una anomalía en los sistemas;
- cómo hacer frente a pequeñas fugas y vertidos;
- importancia de las buenas prácticas y el mantenimiento preventivo;
- procedimientos en caso de emergencia.

Información operativa: El nivel de detalle de los procedimientos operativos y la formación arriba descritos depende de la cantidad de sustancias almacenadas, su riesgo específico y la ubicación de los depósitos. El almacenamiento conjunto de productos de riesgo múltiple es una actividad de riesgo que requiere planteamientos de gestión muy pormenorizados y personal altamente cualificado.

Aplicabilidad: Se utiliza en toda Europa.

Bibliografía de referencia: [18, UBA, 1999] [87, TETSP, 2001] [37, HSE, 1998] [35, HSE, 1998]

4.1.6.1.2. Indicador de bajo nivel en TTFE

Descripción: Los instrumentos que miden el nivel del tanque y avisan cuando ha descendido son necesarios para evitar que los techos de flotación externa se cierren en modo de vaciado, con el correspondiente riesgo de pérdidas o averías. Estos instrumentos pueden consistir únicamente en indicadores de nivel dotados de alarma o en sistemas de cierre automático de las válvulas para detener la descarga del tanque; véase el apartado 4.1.6.1.6 para obtener información sobre sistemas de alarma por niveles elevados.

Información operativa: Una alarma autónoma requiere intervención manual y procedimientos adecuados. Las válvulas automáticas deberían estar integradas en los procesos posteriores y sus diseños para garantizar que en caso de cerrarse no se produzcan consecuencias adversas. En ambos casos, la inspección y el mantenimiento son requisitos esenciales.

Aplicabilidad: Las alarmas son fáciles de integrar, pero la necesidad de instalar válvulas automáticas debe valorarse caso por caso.

Cuestiones de seguridad: Con las válvulas automáticas existe potencial de anomalía en los puntos situados posteriormente en el sistema a causa, por ejemplo, del efecto «golpe de ariete» (véase el apartado Glosario).

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: La instalación de una alarma en los tanques que disponen de un sistema de medición automático no necesita grandes inversiones. Los tanques que se miden manualmente requieren la instalación de un sistema de medición automático con alarma o únicamente una alarma de nivel. Las válvulas de cierre automático son más costosas. Si el sistema de alarma está conectado a una sala de control local, los costes dependerán de las características del emplazamiento.

Bibliografía de referencia: [113, TETSP, 2001]

4.1.6.1.3. *Fugas y sobrellenados*

Descripción: Por contención (secundaria) se alude a sistemas de protección adicional frente a vertidos que vayan más allá de la protección que proporciona el propio tanque. Existen dos grandes tipos de contenciones secundarias para fugas: las que forman parte de la construcción del tanque como, por ejemplo, en los tanques de doble fondo (sólo si son de superficie) o tanques de revestimiento doble o de pared doble y barreras impermeables que se sitúan en la superficie, por debajo de los tanques.

Los diques de contención y los tanques en forma de vaso están diseñados para contener grandes vertidos procedentes de tanques de superficie, por ejemplo al romperse la estructura del tanque o en caso de sobrellenado de gran alcance. Los tanques subterráneos también pueden equiparse con medidas de contención. Todas estas técnicas se analizan en los apartados que siguen.

Los procedimientos operativos y la formación, y los instrumentos y la automatización, son herramientas útiles para evitar sobrellenados. La corrosión y la erosión son importantes causas de fugas al suelo o atmosféricas. También se tratan a continuación.

Bibliografía de referencia: [41, Concawe, 1999], [113, TETSP, 2001]

4.1.6.1.4. *Corrosión y erosión*

Tanques de superficie

La corrosión es una de las principales causas de anomalías en los equipos. Puede producirse tanto en la parte interior como exterior de cualquier superficie metálica expuesta. Normalmente se evita eligiendo materiales estructurales resistentes y métodos de construcción adecuados. Los materiales resistentes pueden ser el material de base (por ejemplo el acero inoxidable), una capa de recubrimiento o un chapado mecánicamente resistente.

Los depósitos para el almacenamiento de, por ejemplo, ácido fosfórico normalmente se construyen a base de acero dulce completamente forrado de goma, también el techo, ya que este ácido es corrosivo para el acero dulce y muchos metales al formarse hidrógeno (altamente explosivo). La goma puede ser natural o sintética (butilo) o, preferentemente, de múltiples capas de cualquiera de ellas. El acero inoxidable con bajo contenido de carbono puede emplearse a temperaturas inferiores a unos 60 °C siempre que no exista riesgo de corrosión causada por cloruros o estén presentes otras impurezas. Los tanques de acero inoxidable dotados de protección anódica son otra opción posible, pero esta técnica sólo puede utilizarse a temperaturas inferiores a los 70 °C. El material estándar que se emplea para el

almacenamiento de amoniaco anhidro a bajas temperaturas es el acero al carbono manganeso certificado.

Las pinturas y otros recubrimientos normalmente proporcionan una buena protección. Existen recubrimientos y pinturas resistentes a sustancias químicas. En el anexo 8.2 (Códigos internacionales) se puede consultar un resumen de varios métodos posibles.

La corrosión interna puede deberse a la acumulación de agua en el tanque. Extraer esa agua puede ser un procedimiento adecuado (véanse los apartados 4.1.4.1 a 4.1.4.3)

La corrosión puede pasar desapercibida bajo el aislamiento o el revestimiento térmico. La corrosión situada debajo del revestimiento debe atajarse dentro del programa de mantenimiento preventivo previsto para los tanques.

La protección catódica es una opción posible para evitar la corrosión en el interior de los tanques de superficie. Se consigue colocando ánodos de protección en el tanque conectados a un sistema de diferente de potencial eléctrico o bien por medio de ánodos galvánicos situados en el tanque. La protección catódica interna ha dejado de tener una gran difusión en la industria del petróleo a causa de la presencia de inhibidores de corrosión en la mayoría de productos de petróleo refinado.

La abrasión puede producirse cuando los sólidos en movimiento, presentes en el líquido, entran en contacto con compuestos del sistema de almacenamiento. No existen muchos métodos para evitar este fenómeno difícil de predecir; entre ellos destacan la reducción de la velocidad de los sólidos a través de medidas propias de diseño o el empleo de materiales estructurales más duros o más blandos una vez detectado el problema.

Tanques subterráneos

Es una práctica común que los tanques subterráneos construidos con materiales vulnerables a la corrosión (como el acero) se protejan por medio de:

- recubrimientos resistentes a la corrosión (por ejemplo asfalto)
- chapado
- sistemas de protección catódica.

Véase el anexo 8.6, donde se incluye una lista de los requisitos que establecen los distintos Estados miembros para los tanques subterráneos.

Grietas por tensocorrosión

Las grietas provocadas por la tensocorrosión son un fenómeno que se produce cuando los metales están expuestos a una combinación de tensión y entorno corrosivo.

Es un problema específico de los contenedores a presión que puede producirse a numerosas temperaturas y presiones distintas. Las grietas por tensocorrosión se han observado en tanques esféricos a presión, tanques semirrefrigerados y algunos otros completamente refrigerados a temperaturas de 33 °C o inferiores que contenían amoniaco. Las grietas se forman principalmente en las soldaduras y en zonas contiguas afectadas por el calor.

De la experiencia acumulada y los extensos trabajos de investigación internacionales realizados parece desprenderse que la puesta en marcha y, más aún, la puesta nuevamente en marcha, son fases críticas para la formación de grietas. Ello se debe principalmente al potencial de aumento de los niveles de oxígeno en el interior del tanque y a la variación de las temperaturas, que aumentan los niveles de tensión.

Aliviar la tensión por medio de un tratamiento térmico posterior a la soldadura en las zonas afectadas por el calor se considera el único método fiable de evitar la formación de grietas por tensocorrosión en los tanques que contienen amoniaco.

Bibliografía de referencia: [86, EEMUA, 1999] [25, IFA/EFMA, 1990] [41, Concawe, 1999] [3, CPR, 1984, 26, UNIDO-IFDC, 1998, 28, HMSO, 1990, 37, HSE, 1998, 113, TETSP, 2001]

4.1.6.1.5. *Procedimientos operativos y formación para evitar sobrellenos*

Descripción: El primer nivel de protección frente a los sobrellenos es la observación por parte de los operadores de procesos operativos claramente definidos. Estos procedimientos podrían, por ejemplo, establecer respuestas para garantizar que:

- exista suficiente capacidad disponible para albergar mayor volumen de producto;
- los instrumentos empleados para controlar el funcionamiento normal del sistema de almacenamiento, por ejemplo los indicadores de nivel o de presión, informan al operador sobre los riesgos de superación de los parámetros del proceso antes de que se llegue a producir un sobrelleno;
- durante los controles regulares de las instalaciones de almacenamiento los operadores detecten los niveles o condiciones de presión anormales en los tanques;
- no se produzca ningún sobrelleno durante el proceso de llenado de los tanques.

La eficacia de estas medidas debe mantenerse en el tiempo. Ese es uno de los objetivos de los sistemas de gestión. Los sistemas de gestión apropiados incluyen lo siguiente: formación periódica de los operadores, actualización de las instrucciones operativas, programa de calibrado de los instrumentos, informes de seguridad e incorporación de las conclusiones obtenidas del análisis de los incidentes.

Bibliografía de referencia: [113, TETSP, 2001]

4.1.6.1.6. *Instrumentos y automatización para evitar sobrellenados*

Descripción: Para evitar sobrellenados en los tanques se requieren instrumentos de alto nivel, ya sean medidores de nivel dotados de alarma y/o sistemas de cierre automático de las válvulas.

Información operativa: Una alarma autónoma requiere intervención manual y procedimientos adecuados. Las válvulas automáticas deberían estar integradas en los procesos anteriores y sus diseños para garantizar que en caso de cerrarse no se produzcan consecuencias adversas. Potencialmente podrían producirse problemas de presión en los conductos. El tiempo de cierre de las válvulas y los requisitos de inspección y calibrado son aspectos cruciales de cara a prevenir las emisiones.

Aplicabilidad: Las alarmas son fáciles de aplicar, pero la necesidad de instalar válvulas automáticas debe valorarse caso por caso para evitar problemas concretos como los picos de presión y las sobrepresiones. También se suelen utilizar, además, alarmas para evitar sobrellenados en tanques subterráneos.

Cuestiones de seguridad: Con las válvulas automáticas existe potencial de fallo en los puntos situados anteriormente en el sistema.

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: Los tanques que se miden manualmente requieren únicamente la instalación de un sistema de medición automático y/o una alarma de nivel, ambas económicas. Si la alarma está conectada a una sala de control local, los costes dependerán de las características del emplazamiento. Las válvulas de cierre automático son más costosas. Los sistemas de protección contra picos de presión y el mantenimiento de las tuberías son medidas de coste muy elevado.

Por ejemplo, un sensor electrónico antisobrellenados cuesta entre 500 y 2000 EUR (año 1999). Estos costes no incluyen la instalación ni la interconexión con sistemas de seguridad, aunque sí la adaptación a las instalaciones. Es posible habilitar sensores alternativos con el mismo principio de medición y una capacidad de protección del entorno comparable. Los costes no difieren en exceso.

Bibliografía de referencia: [113, TETSP, 2001] [18, UBA, 1999] [132, Arthur D. Little Limited, 2001]

4.1.6.1.7. *Instrumentos y automatización para detectar fugas*

Introducción: Pueden utilizarse las cuatro técnicas básicas de detección de fugas siguientes, en las que se profundiza en este apartado:

- A. Barreras de prevención de vertidos,
- B. Control de existencias,
- C. Control de emisiones acústicas,
- D. Seguimiento de vapores del suelo,

A. Barreras de prevención de vertidos (BPV)

Descripción: Si se ha instalado un doble fondo en el tanque o construido una barrera impermeable, cualquier fuga que se produzca en la base del tanque puede conducirse al perímetro del mismo. El método de detección más simple consiste en llevar a cabo inspecciones visuales para detectar la presencia del producto en los «indicadores» de los puntos de detección. Si se trata de productos volátiles es posible detectar el gas en los «indicadores».

Otra técnica aplicable a los tanques con doble fondo sería mantener en el espacio situado entre ambos fondos una atmósfera de vacío que se someta a control constante. Así, cualquier posible fuga entre los fondos interrumpirá el vacío y activará la alarma. Si se utilizan revestimientos impermeables puede colocarse un sensor entre el fondo del tanque y el revestimiento. Las propiedades eléctricas de este cable cambian cuando entra en contacto con el producto almacenado, lo que permite detectar fugas potenciales.

Si se trata de tanques de doble pared o con forma de vaso, puede colocarse un sensor entre ambas paredes o entre la pared única y el producto, respectivamente.

Información operativa: Estos métodos no afectan al funcionamiento del tanque.

Aplicabilidad: Elevada.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno en el caso de los sistemas visuales simples. En otros sistemas se necesita energía para los instrumentos.

Aspectos económicos: Técnica de bajo coste si se instala en tanques nuevos, tanques de doble pared nuevos o tanques de doble fondo nuevos. Los costes pueden ser muy elevados si se llevan a cabo remodelaciones.

Bibliografía de referencia: [114, UBA, 2001, 132, Arthur D. Little Limited, 2001] [151, TETSP, 2002]

B. Control de existencias

Descripción: Estos controles analizan alguno de los aspectos siguientes:

- a) el nivel de producto en el interior del tanque (comprobación del nivel) o bien;
- b) la masa de producto presente en el tanque en condiciones estáticas (comprobación másica) o bien;
- c) la diferencia entre el volumen de producto introducido en el tanque y extraído de él a lo largo de un período prolongado en comparación con la variación registrada en el volumen del producto almacenado.

Los métodos de comprobación a) y b) se conocen como métodos volumétricos estáticos y el c) como control de existencias ampliado.

Métodos volumétricos estáticos

a) Comprobación del nivel: el concepto básico es que el volumen de líquido de un tanque, y por tanto su nivel, deberían mantenerse constantes cuando se han tenido en cuenta las expansiones térmicas propias del tanque y del producto. Los errores son causa de los gradientes térmicos que afectan al producto almacenado, los cambios en la forma del tanque a consecuencia de cambios de presión internos y térmicos, el efecto del viento y las variaciones tanto de la temperatura ambiente como de la radiación solar.

b) Comprobación másica: consiste en forzar la entrada de gas a través de dos tubos, uno de ellos situado cerca del fondo del tanque y el otro en el espacio para vapor existente sobre el producto. El diferencial de presión corresponde a la masa de producto situada por encima del punto de medición inferior y debería ser independiente de los cambios en el nivel del líquido provocados por la expansión térmica.

Ambos métodos volumétricos requieren un período fuera de servicio de entre 24 y 48 horas para la realización de las pruebas. Cuanto más prolongado sea el período de prueba, mayor será la sensibilidad del método en caso de fuga. Para reducir los efectos térmicos, los ensayos deberían realizarse cuando los niveles de producto almacenado sean bajos (< 3 m) y de noche.

c) Control de existencias ampliado: el concepto se basa en sumar todos los flujos de entrada y salida del tanque y comparar la diferencia neta con el cambio de volumen en el tanque. Este método tiene las mismas limitaciones que la comprobación volumétrica estática. Los medidores del caudal de entrada y salida introducen errores adicionales debidos a los instrumentos.

Información operativa: Ambos «métodos volumétricos estáticos» requieren que el tanque esté fuera de servicio durante uno o dos días con un nivel de producto bajo, además de instrumentos de gran precisión. El «control de existencias ampliado» no afecta al funcionamiento del tanque, pero requiere largos períodos de pruebas durante los cuales se miden los flujos con instrumentos bien calibrados y se registran los datos para cotejarlos más tarde.

Aplicabilidad: Todas las técnicas tienen una aplicabilidad elevada en tanques atmosféricos, pero los «métodos volumétricos estáticos» no pueden emplearse con los TTFE. El «control de existencias ampliado» tiene la ventaja de poderse realizar con los instrumentos existentes.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: Los «métodos volumétricos estáticos» son técnicas de bajo coste. Los «controles de existencias ampliados» tienen un coste medio.

Bibliografía de referencia: [151, TETSP, 2002]

C. Control de emisiones acústicas

Descripción: Este método detecta las fugas atendiendo a los ruidos característicos que producen éstas en el fondo de los tanques estáticos. Se necesitan equipos sofisticados para poder captar y analizar ruidos de intensidades tan bajas. Algunas fuentes de ruido pueden dar como resultado detecciones espúreas, por ejemplo el movimiento de los techos flotantes, los vientos intensos o el movimiento térmico de la estructura del tanque.

Información operativa: Este método requiere que el tanque esté fuera de servicio durante entre 4 y 8 horas y la utilización de equipos de medición y de análisis de datos especializados.

Aplicabilidad: Fácilmente aplicable a los tanques atmosféricos.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: El «control de emisiones acústicas» es una técnica de coste medio.

Bibliografía de referencia: [151, TETSP, 2002]

D. Control de los vapores del suelo

Descripción: Este método consiste en el análisis de los vapores difundidos o extraídos con una bomba de vacío del suelo situado debajo del tanque. El número de puntos de muestreo necesarios depende del diámetro del tanque y de la permeabi-

lidad del suelo. El estudio de las características del suelo debería acometerse antes de que se produzcan fugas para establecer la presencia de posibles emisiones de fondo. Este método básico no funciona si el producto almacenado no es volátil o si hay un fondo de agua por debajo del producto, en el interior del tanque.

Para mejorar la capacidad de detección puede añadirse un marcador al producto almacenado, pero deberá ser volátil, inocuo e inflamable, distinto de cualquier otro producto almacenado en la planta y no contaminante para el producto en cuestión. Se han utilizado con éxito como marcadores los perfluorocarbonos, inyectados en una concentración de 1 a 10 ppm.

Información operativa: Esta técnica puede realizarse con el tanque en servicio. El uso de marcadores requiere la realización de una prueba que dura entre varias horas y semanas. También se necesitan sistemas de control especializados en la detección de gas.

Aplicabilidad: El «seguimiento de vapores del suelo» es fácilmente aplicable a los tanques atmosféricos.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Energía/residuos/efectos cruzados: La detección por medio de marcadores requiere añadir una sustancia al producto almacenado.

Aspectos económicos: Esta técnica tiene un coste medio en tanques de diámetro pequeño y elevado en los de gran diámetro.

Bibliografía de referencia: [151, TETSP, 2002]

4.1.6.1.8. *Aproximación basada en el riesgo para emisiones al suelo situado debajo de los tanques*

A continuación se describe una metodología basada en el riesgo para la detección de las emisiones producidas bajo el suelo de los tanques. En el apartado 4.1.6.1.11 se analiza una metodología para las emisiones al suelo situado alrededor de los tanques.

Descripción: El método basado en el riesgo para emisiones al suelo generadas por un tanque vertical, de base plana y de superficie, que contenga líquidos con potencial contaminante del suelo, consiste en la aplicación de medidas de protección del suelo tan exhaustivas de forma que sólo exista un «riesgo insignificante» de que se contamine el suelo a causa de fugas producidas en el fondo de los tanques o en la junta de unión del fondo con la pared.

En los Países Bajos, la industria y las autoridades han desarrollado conjuntamente una metodología que define en qué consiste un nivel de riesgo suficiente. ¿Debe existir un «nivel de riesgo insignificante» o es suficiente con un «nivel de riesgo aceptable»? También permite determinar de qué manera se alcanza un nivel de riesgo concreto. La metodología se explica a continuación:

La combinación de buen diseño, construcción adecuada y un programa de inspección y mantenimiento apropiado junto con determinadas medidas técnicas puede llevar a un «riesgo insignificante» de contaminación del suelo. En la Tabla 4.6 se muestran las medidas que, adecuadamente combinadas, permiten alcanzar un nivel de riesgo desdeñable; según esta metodología, sólo las combinaciones que puntúen 100 puntos o más lo alcanzarán.

Sólo es posible llegar a un riesgo de contaminación del suelo insignificante si se implantan las siguientes combinaciones de técnicas:

- un grosor del fondo del tanque de al menos 6 mm junto con una barrera impermeable entre el fondo del tanque y la superficie del suelo o bien;
- un tanque de fondo doble original dotado de un sistema de detección de fugas y con un grosor del fondo primario y secundario de al menos 6 mm o bien;
- un grosor del fondo del tanque de al menos 5 mm junto con un sistema de detección de fugas en combinación con un sistema de recubrimiento externo y medidas para evitar la infiltración del agua de lluvia o subterránea o bien;
- una combinación de otras medidas máximas junto con productos no corrosivos o un fondo de tanque de un grosor mínimo de 3 mm.

Una combinación de técnicas que reciba una puntuación de entre 45 y 99 se considera, de acuerdo con esta metodología, un «nivel de riesgo superior» que puede mejorarse hasta alcanzar un «nivel de riesgo insignificante» con la implantación de inspecciones basadas en el riesgo del fondo de los tanques sumadas a un sistema de gestión apropiado.

Un «nivel de riesgo superior» puede mejorarse hasta alcanzar un «nivel de riesgo aceptable» mediante el seguimiento de las condiciones del suelo (y de las aguas subterráneas) y la aceptación de la necesidad, cuando así se requiera, de limpiar, tratar o extraer el suelo contaminado.

Tabla 4.7: Sistema de puntuaciones para determinar el nivel de riesgo de emisiones al suelo [79, BoBo, 1999]

Puntuación del grosor (d) del tanque, en mm	Puntos logrados	Observaciones
$d_{\min} \geq 6$	50	
$5 \leq d_{\min} < 6$	40	
$4 \leq d_{\min} < 5$	30	
$3 \leq d_{\min} < 4$	15	
$d_{\min} < 3$	0	
Aumento de $d_{\min} > 6$	5	Se añaden 5 puntos por cada mm adicional
Juntas anulares y membranas soldadas a tope	5	
Medidas de control de las emisiones		
Barrera impermeable	50	
Detección de fugas encima o en la superficie del suelo	25	
Tanque de fondo doble con sistema de detección de fugas (nota 1)	50	El grosor del fondo del tanque exterior debe tener un mínimo de 6 mm
Sistema de revestimiento externo	15/5	15 puntos para los sistemas de revestimiento aplicados a tanques elevados 5 puntos si el revestimiento se realiza antes de la instalación del fondo del tanque
Medidas para evitar la infiltración de agua	20	Si el agua de lluvia no se infiltra y el tanque se encuentra a una distancia suficiente respecto a cursos de agua subterráneos
Arena petrolífera (nota 2)	5	No se añaden puntos si el revestimiento externo se aplica en un tanque sostenido por medio de gatos hidráulicos. La arena petrolífera debe combinarse con medidas que impidan la entrada del agua de lluvia
Sistema de revestimiento interno o (en cuanto al fondo del tanque) almacenamiento de una sustancia no corrosiva	10	
Protección catódica	Sin puntuación establecida	

Notas:

1) por «tanque de fondo doble original» se entiende un tanque construido originalmente con un fondo doble. La instalación de un segundo fondo en un tanque ya existente no proporciona el mismo nivel de protección.

2) la arena petrolífera es una mezcla especial de arena pura y seca con un aceite no corrosivo que se distribuye en la zona situada justo debajo del fondo del tanque para evitar la corrosión externa.

Los tanques de doble fondo y los sistemas de barrera impermeable se describen con mayor detalle en los apartados 4.1.6.1.9 y 4.1.6.1.10 respectivamente.

Beneficios ambientales obtenidos: Puede lograrse un «nivel de riesgo insignificante» de contaminación del suelo; sin embargo, en algunas situaciones, un «nivel de riesgo aceptable» podría ser suficiente.

Información operativa: Esta metodología fue desarrollada para ayudar a las autoridades y a la industria a ponerse de acuerdo sobre qué niveles de riesgo son suficientes para determinadas plantas y qué medidas de control de las emisiones deben ponerse en marcha para controlar o influir en el nivel de riesgo de contaminación del suelo existente.

Aplicabilidad: Esta metodología es válida para nuevas situaciones y situaciones ya existentes y para el almacenamiento de petróleo crudo, productos de petróleo crudo y sustancias químicas almacenados en tanques de superficie con un diámetro mínimo de 8 m. Sin embargo, se cree que también puede aplicarse a tanques más pequeños y a otras sustancias potencialmente contaminantes del suelo.

La metodología es apropiada para tanques verticales con fondo plano fabricados con acero al carbono, pero no para el almacenamiento de productos no peligrosos (para el suelo) como agua y productos que coagulan al entrar en contacto con el aire libre (por ejemplo betunes, aceites vegetales, cera y azufre). Tampoco es aplicable al almacenamiento de gases licuados.

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: Dependen del nivel de riesgo actual y de las técnicas utilizadas.

Bibliografía de referencia: [79, BoBo, 1999]

4.1.6.1.9. *Instalación de un doble fondo en tanques de superficie*

Descripción: La instalación de un segundo fondo impermeable en un tanque de superficie constituye una medida de protección frente a vertidos normalmente no catastróficos provocados por la corrosión, soldaduras defectuosas o defectos en el material del fondo o en los detalles de construcción. Además de contención, los fondos dobles son un medio para detectar fugas en la parte inferior de los tanques.

Los fondos dobles pueden adaptarse a tanques ya existentes o incorporarse al diseño de tanques nuevos. La instalación de un segundo fondo en un tanque existente no proporciona el mismo nivel de protección que su incorporación a la fase de diseño. En

caso de remodelación, el fondo del tanque existente normalmente sirve de «entarimado» secundario, de modo que puede introducirse arena, grava u hormigón en el espacio intermedio. Es práctica habitual limitar el espacio intersticial al mínimo, por lo que el segundo fondo suele tener la misma inclinación que el primero. Esta inclinación hacia la base de los tanques puede ser plana, en forma cónica (del centro del fondo hacia el perímetro del tanque) o cónica invertida (del perímetro del tanque hacia abajo).

La práctica totalidad de tanques se fabrican a partir de acero al carbono. Si se va a instalar un doble fondo (ya sea inicialmente o a través de una remodelación) existen distintos tipos de materiales disponibles. Puede utilizarse un segundo fondo igualmente de acero al carbono o bien de acero inoxidable más resistente a la corrosión. La tercera posibilidad consiste en recubrir el fondo con una capa de revestimiento epoxi reforzado con fibra de vidrio sobre el acero.

Cualquier fuga de producto que se produzca en el fondo de un tanque puede detectarse a través de un sistema de detección de fugas. Estos sistemas se describen más detalladamente en el apartado 4.1.6.1.7.

La principal desventaja de los dobles fondos es la dificultad para determinar cómo repararlo de forma segura en caso de que se detecte una fuga. Es muy difícil extraer el gas y limpiar el espacio intermedio entre fondos. Este requisito no debería subestimarse ni pasarse por alto, puesto que podría causar serios problemas de seguridad al personal de mantenimiento. Además, a la hora de evaluar el uso de segundos fondos debe prestarse atención a los cambios en los cálculos de diseño del tanque, de ubicación o de accesorios, además de su posible corrosión.

Aplicabilidad: La corrosión potencial, el diseño y el mantenimiento seguro son problemas que afectan a los fondos dobles. Algunas soldaduras dejan de ser visibles al instalar un segundo fondo, y las reparaciones se complican a causa del pequeño espacio de separación de los fondos.

Cuestiones de seguridad: Si se produce una fuga se dificulta la limpieza y la eliminación del gas entre ambos fondos.

Energía/residuos/efectos cruzados: Pueden darse problemas de efectos cruzados si el doble fondo se instala en un tanque ya existente.

Aspectos económicos: Son técnicas de elevado coste, extremadamente alto en caso de remodelación.

Motivo principal para su aplicación: Alemania y Suiza se encuentran entre los pocos países europeos donde se han instalado fondos dobles para cumplir con las exigencias nacionales.

Bibliografía de referencia: [41, Concauwe, 1999, 113, TETSP, 2001]

4.1.6.1.10. *Barreras impermeables situadas bajo tanques de superficie*

Descripción: Existen distintos sistemas para sellar eficazmente el terreno e impedir la infiltración de los vertidos. También es posible utilizar estratos finos de arcilla, material de baja permeabilidad, situados debajo de los tanques de forma natural o bien transportados para tal fin. Existen los siguientes tipos de capas arcillosas:

- bentonita granular incrustada entre dos capas de material geotextil;
- arena, bentonita y material polimérico.

Las capas de arcilla pueden utilizarse prácticamente con cualquier producto. A pesar de todo, es necesario que el sellado de las juntas y los elementos accesorios esté correctamente diseñado (véase también el apartado 4.1.6.1.11). Además, la colocación de una capa arcillosa blanda debajo del tanque puede acentuar la rotación de la estructura o del extremo de la base del tanque a medida que éste se asienta, lo que incrementa la posibilidad de que se produzcan anomalías en la placa de la base. Por otro lado, la arcilla es propensa a encogerse y agrietarse en condiciones de sequedad, por lo que deberán adoptarse medidas que garanticen que permanece húmeda. Así pues, en un clima seco podría ser preferible la instalación de una superficie de asfalto u hormigón, aunque habrá que prestar atención al desarrollo de posibles grietas con el paso del tiempo.

Puede disponerse una membrana impermeable flexible, por ejemplo de polietileno de alta densidad (PEAD), debajo de las estructuras de base de un tanque de superficie, ya sea de tipo cónico ascendente o descendente. Si se trata de un cono ascendente se necesitará un sistema de drenaje externo en el perímetro inferior del tanque, mientras que si el cono es de tipo descendente se requerirá un colector en la parte central del cimientado del tanque dotado con un conducto de drenaje dirigido a un colector/sistema de detección de fugas externo. Las membranas flexibles también son una opción para tanques con cimientados de hormigón en forma de anillo.

La instalación de membranas flexibles no afecta al diseño del tanque. La presencia de una membrana tampoco entorpece normalmente los procedimientos de elevación por medio de gatos hidráulicos.

La principal desventaja de estos revestimientos es la necesidad de sellarlos adecuadamente. Por otra parte, al extraer material contaminado de debajo del tanque en caso de fuga deberá actuarse con sumo cuidado para no dañar la membrana, ya que podría obligar a sustituirla. Aunque las membranas son apropiadas para prácticamente cualquier producto, la resistencia de éstas al producto almacenado podría verse afectada si el tanque alberga productos de distinto tipo.

Información operativa: Todos los sistemas de revestimiento requieren mantenimiento y la realización de pruebas. La extracción de material y/o la reparación del

sistema primario si tiene una fuga hace difícil poder garantizar que la integridad del sistema secundario sigue intacta.

Aplicabilidad: Las anteriores técnicas pueden implantarse en tanques nuevos, pero su instalación en caso de remodelación es muy compleja. Al elegir el material de barrera debe tenerse en cuenta la compatibilidad con los productos almacenados. La climatología (por ejemplo las heladas, los grandes cambios de temperatura a lo largo del día o las temperaturas ambiente muy altas) pueden ocasionar complicaciones. El secado de las capas de arcilla es un problema en potencia.

La instalación de sistemas de barrera suele basarse en una evaluación previa de los riesgos (véase también el apartado 4.1.6.1.11).

Cuestiones de seguridad: Cuando se ha producido una fuga, la exposición al producto o el riesgo de no detectarlo por parte del personal puede ocasionar problemas. Si la fuga es de productos inflamables existe, además, riesgo de incendio.

Energía/residuos/efectos cruzados: Pueden darse posibles problemas de efectos cruzados al instalar barreras impermeables durante la remodelación.

Aspectos económicos: Son opciones de coste elevado, extremadamente elevado en caso de remodelación.

Bibliografía de referencia: [113, TETSP, 2001]

4.1.6.1.11. *Diques de contención y revestimientos para tanques*

Descripción: Mientras que los fondos dobles y las barreras impermeables situadas bajo los tanques protegen frente a las fugas pequeñas pero persistentes, los depósitos de contención (o diques) están diseñados para contener grandes vertidos, por ejemplo los provocados al romperse la estructura del tanque o en caso de sobrellenado de grandes proporciones. El objetivo de la contención con diques no sólo es prevenir la contaminación de la tierra y los cursos de agua, sino también:

- impedir que el líquido inflamable llegue a fuentes de ignición;
- impedir que el líquido acceda al sistema de drenaje o de canalización de agua, de donde podría extenderse hacia fuentes de ignición incontroladas;
- permitir la recuperación controlada o el tratamiento del material vertido;
- minimizar el área superficial ocupada por el líquido y, de esta manera, limitar la gravedad de posibles incendios;
- evitar la propagación de líquidos en combustión que podrían representar un peligro para otras plantas o para el personal tanto dentro como fuera de las instalaciones.

La contención consiste en la construcción de un muro o dique alrededor del perímetro del tanque (o tanques) para que retenga cualquier producto en el improbable caso de que se produzca un vertido. Normalmente se construyen a base de tierra muy compactada o de hormigón armado. Suelen tener un volumen suficiente para albergar el contenido del tanque más grande situado dentro de los límites del dique.

El revestimiento del interior del dique con una barrera completamente impermeable puede evitar infiltraciones del producto en el terreno. Esta barrera podría ser completa y cubrir la totalidad del suelo y los muros del dique o parcial y limitarse al área situada alrededor de la base de los tanques. El tamaño de las barreras parciales permite contener cualquier derrame de producto provocado por pequeños sobrellenos o pequeñas fugas procedentes de, por ejemplo, las válvulas laterales del tanque.

Cualquier sistema de revestimiento debe incluir también los asentamientos del tanque para que la integridad se mantenga a lo largo de toda la vida útil operativa del mismo. Los asentamientos de los tanques pueden llegar a ser grandes a lo largo de su vida útil (por ejemplo, más de 1 m en el caso de los grandes depósitos de petróleo crudo), en especial si los cimientos se encuentran en terrenos blandos formados por fango estuarino o arcilla.

En Europa, la mayor parte de la legislación que regula la contaminación del suelo o la contaminación potencial del suelo se basa en el riesgo. Los enfoques basados en el riesgo analizan la importancia de cualquier daño o lesión a la salud humana o al medio ambiente y se utilizan habitualmente, por ello es necesario valorar el riesgo de cualquier posible vertido de los tanques. Los líquidos derramados pueden infiltrarse en la tierra, y las aguas subterráneas podrían permitir el avance de los compuestos disueltos del producto por debajo del dique. La propensión depende del tipo de producto, la temperatura ambiente y las características del suelo. El enfoque basado en el riesgo se estructura normalmente a partir de los seis pasos siguientes:

- 1) análisis de los volúmenes de vertido en relación con la frecuencia de los vertidos. Normalmente muestra, en términos relativos, un riesgo más elevado de que se produzcan numerosos pequeños vertidos con una posibilidad muy baja de grandes vertidos.
- 2) estudio del potencial de infiltración del vertido en el suelo de un dique sin barrera: depende del tipo de producto, la temperatura ambiente, las características del suelo y el tiempo necesario para recuperar en caso de emergencia el producto derramado «accesible»;
- 3) combinación de (1) y (2) para obtener la probabilidad de que ocurran accidentes con distinto «volumen» de tierra contaminada a causa del producto vertido;
- 4) análisis de los riesgos en las áreas receptoras a partir de los volúmenes de contaminación previamente obtenidos: permite examinar el comportamiento

y el transporte, también el potencial de determinados productos orgánicos de degradarse en determinadas condiciones;

- 5) repetición de los pasos (2) a (4) para distintas condiciones de barrera;
- 6) realización de análisis de sensibilidad que permitan valorar la importancia de los riesgos de las barreras de distinto alcance y de las diferentes combinaciones de productos y suelos como contribución a la toma de decisiones.

Información operativa: La operabilidad se ve afectada por las cuestiones siguientes:

- manipulación del líquido vertido;
- drenaje del agua de lluvia capturada por el dique;
- daños potenciales a la barrera del dique a causa de tareas de mantenimiento;
- mantenimiento y realización de pruebas en el revestimiento;
- reparación del revestimiento tras sufrir daños.

Aplicabilidad: La contención de sobrellenos es una técnica aplicable a los tanques de nueva construcción. La remodelación es más compleja a causa del sellado de la red de canalización/drenaje existente. La habilitación de un sistema de contención debe sopesarse respecto a la reducción del potencial de vertido que representa la mejora de los sistemas operativos, la formación y la anotación de registros, además de la instalación de instrumentos y/o alarmas.

Cuando se almacenan distintos productos dentro de la misma área de contención debe tenerse en cuenta la compatibilidad de las sustancias que podrían verse en potencia; véase el anexo 8.3. Las condiciones climatológicas (por ejemplo las heladas, los grandes cambios de temperatura a lo largo del día o las temperaturas ambiente muy altas) pueden ocasionar complicaciones. La selección de sistemas de barrera puede determinarse a partir de una evaluación previa de los riesgos, que también es válida para establecer el alcance de cualquier barrera. Si se analizan los costes y beneficios podría llegarse a la conclusión de que resulta más conveniente instalar una barrera inmediatamente alrededor del tanque que un dique de contención completo. De este modo se dispondría de protección frente a derrames potencialmente más frecuentes pero de menor volumen.

Las superficies de hormigón no revestido, aunque sean de hormigón impermeable, no son efectivas frente a disolventes de hidrocarburos clorados.

Cuestiones de seguridad: Una vez ha tenido lugar el vertido, la exposición del personal al producto es un aspecto vital. Los líquidos inflamables presentan riesgo de incendio. La extracción del material derramado puede dañar el sistema de contención. Una vez retirado el material vertido, la integridad de la barrera debe someterse a un concienzudo examen.

Energía/residuos/efectos cruzados: Existen posibles problemas con los residuos y los efectos cruzados. Los diques dotados de barrera deben disponer de un sistema de drenaje para la conducción del agua de la lluvia, que de otra forma se infiltraría en el suelo. En las refinerías se consideran buenas prácticas separar esta agua de lluvia limpia recogida en el dique del agua de la lluvia potencialmente contaminada (como la que podría generarse en un colector o en las áreas de proceso) para reducir al mínimo la cantidad de agua residual procesada a través del sistema de tratamiento de agua oleosa de la planta.

Aspectos económicos: Instalar una barrera impermeable en un tanque ya existente sometiéndolo a remodelación tiene costes elevados. Estos costes son más bajos en tanques de nueva construcción.

Bibliografía de referencia: [41, Concawe, 1999] [113, TETSP, 2001] [37, HSE, 1998] y UK Energy Institute: «A risk-based framework for assessing secondary containment of hydrocarbon storage facilities, enero de 2005».

4.1.6.1.12. *Contención mediante hormigón laminado bajo tanques de superficie*

Descripción: Los disolventes de hidrocarburos clorados (CHC) requieren que los diques de contención estén recubiertos de una capa de protección superficial que permita tapar las grietas capilares e impermeabilizarlos. Las películas resistentes a los CHC deben tener una calidad concreta; para ello están basadas en los siguientes materiales:

- resinas fenólicas o
- resinas furánicas.

Existe, además, un tipo de resina epoxídica («Concretin») que ha superado los rigurosos ensayos a que se ha sometido las películas a prueba de CHC.

Información operativa: Las películas de resina furánica pueden contener modificadores químicos para mejorar la plasticidad y evitar grietas capilares. Sin embargo, los modificadores reducen la durabilidad de la sustancia química, un aspecto de vital importancia para el cloruro de metileno. Las resinas furánicas no pueden emplearse como materiales sellantes en las juntas a causa de su limitada plasticidad. Para que la durabilidad sea suficiente, las resinas furánicas o fenólicas deben combinarse con mantas de fibra de vidrio. Se requieren además capas elásticas intermedias que cubran y rellenen las grietas superficiales del hormigón, por ejemplo:

- capas de elastómeros (por ejemplo de poliisobutileno y varios productos del caucho);

- capas sobre una base bituminosa;
- las llamadas láminas líquidas, que se añaden al hormigón y una vez endurecidas forman una capa elástica (por ejemplo el poliuretano).

A continuación se aplica la capa impermeable a CHC sobre la capa intermedia elástica. Si se requiere que la lámina tenga una resistencia mecánica considerable puede añadirse una capa más, por ejemplo de azulejos sobre un lecho de mortero.

Aplicabilidad: Esta técnica se utiliza habitualmente cuando se almacenan CHC en tanques o contenedores de pared única.

Bibliografía de referencia: [156, ECSA, 2000]

4.1.6.1.13. *Tanques de superficie de doble pared*

Descripción: Existen distintos diseños de tanques de doble pared. La Figura 4.9 muestra una doble pared situada en el exterior con una distancia respecto a la pared interior de entre 100 – 150 mm, una doble pared adyacente a la pared interior y una doble pared situada en el interior del tanque. Las dobles paredes normalmente se utilizan en combinación con dobles fondos y sistemas de detección de fugas para el almacenamiento tanto de sustancias inflamables y no inflamables como de sustancias no peligrosas a muy peligrosas para las aguas superficiales.

La doble pared exterior requiere que la estructura sea capaz de resistir la presión en caso de contenido máximo. Las dobles paredes interiores sirven de apoyo a la pared del tanque y aumentan su resistencia total.

Información operativa: Los tanques de doble pared ocupan menos espacio que, por ejemplo, los que tienen forma de vaso. El sistema patentado cumple las normas alemanas relativas al almacenamiento de agentes extintores. La doble capa es capaz de aislar por ejemplo productos a presión a causa del efecto «termo». La inspección y el mantenimiento del espacio intermedio es compleja.

Aplicabilidad: Este tipo de tanques se utilizan en Alemania para el almacenamiento tanto de sustancias inflamables y no inflamables como de sustancias no peligrosas para las aguas superficiales a muy peligrosas para estas aguas.

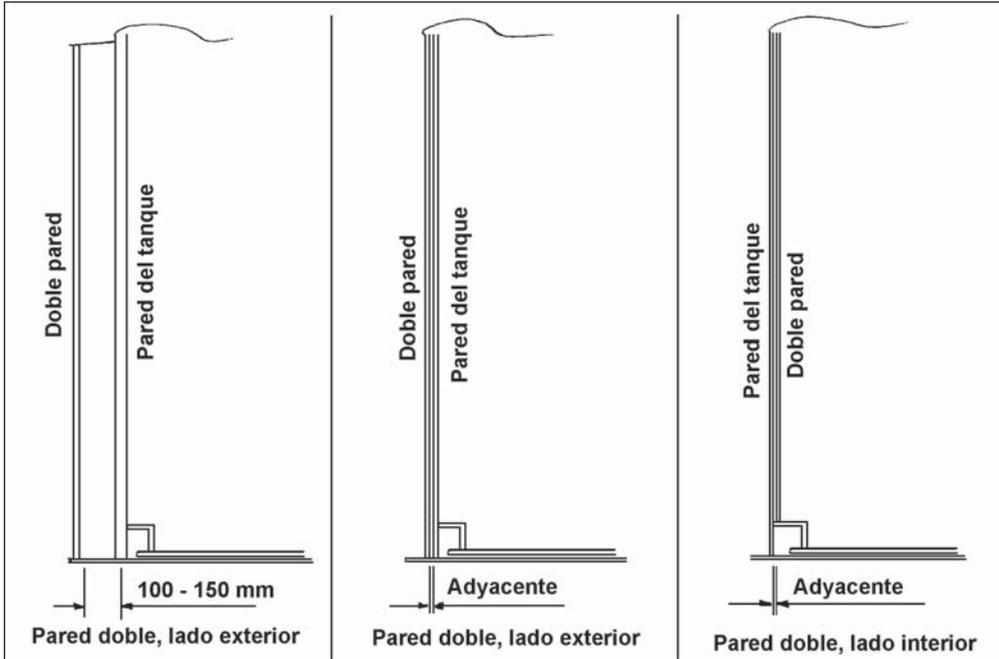


Figura 4.9: Tanques de doble pared JPM, sistema patentado [122, JPM Ingenieurstechnik GMBH, 2002]

Cuestiones de seguridad: Los tanques de doble pared tienen una mayor resistencia al fuego que los de pared única. Con todo, en caso de incendio puede ser complicado extinguir las llamas entre la doble pared.

Energía/residuos/efectos cruzados: El efecto aislante permite ahorrar energía. Además, se evita que se infiltre agua de la lluvia en el espacio comprendido entre la doble pared y la pared del tanque.

Aspectos económicos: Esta técnica es más costosa que la actualización de las instalaciones de contención que rodean los tanques ya existentes, aunque los costes pueden depender en gran medida de la planta.

Bibliografía de referencia: [122, JPM Ingenieurstechnik GMBH, 2002] [175, TWG, 2003]

4.1.6.1.4. *Tanques en forma de vaso*

Descripción: En los tanques en forma de vaso se construye un segundo tanque alrededor de un tanque de pared única a una distancia de aproximadamente 1,5 m. El «vaso» formado tiene la misma resistencia que el mismo tanque y su estructura

permite contener todo el líquido almacenado. En él se instalan equipos como por ejemplo bombas y válvulas para evitar que las posibles fugas del tanque y del equipo se infiltren en el suelo. El agua de lluvia que accede al vaso se descarga a través de uno o más desaceitadores o limpiadoras de aceite.

Este tipo de tanques se emplean para el almacenamiento de productos como petróleo crudo, gasolina y gasóleo doméstico. El tanque puede equiparse con un doble fondo al vacío con detección de fugas.

Información operativa: Los tanques en forma de vaso son muy utilizados, por ejemplo en Gera, Alemania, en una terminal de Oiltanking.

Cuestiones de seguridad: Los cálculos de radiación térmica demuestran que los tanques en forma de vaso tienen una resistencia al fuego más alta que los tanques de pared única.

Normalmente los tanques (de gasolina) están equipados con un sistema de aspersión que impide que las llamas de fuegos cercanos lleguen al tanque.

Cada tanque cuenta con un sistema de contención de fugas específico que hace del almacenamiento de sustancias compatibles en una misma área de contención una cuestión superflua en comparación con la protección de varios tanques de pared única en un mismo perímetro de contención.

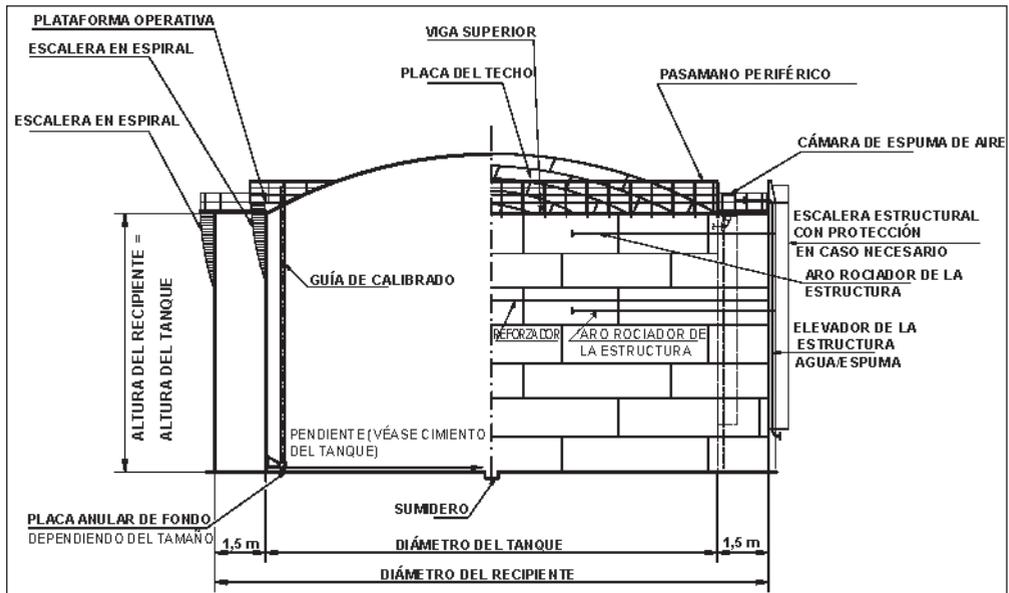


Figura 4.10: Ejemplo de tanque en forma de vaso [125, Oiltanking, 2002]

Energía/residuos/efectos cruzados: El agua de lluvia que se infiltra en el vaso queda contaminada, por lo que debe tratarse antes de su descarga.

Bibliografía de referencia: [124, Oiltanking, 2002] [123, Provincie Zeeland, 2002]

4.1.6.1.15. *Tanques de superficie de doble pared con control de la descarga del fondo*

Descripción: Para prevenir las emisiones al suelo y/o a las aguas superficiales se utilizan dos sistemas alternativos: el «tanque de pared única sobre un foso o dique» y el «tanque de doble pared equipado de dispositivo de detección de fugas». No obstante, los tanques de pared doble no deberían tener problemas de infiltración por debajo del nivel de llenado permitido para evitar las fugas, por lo que normalmente incorporan un sistema de descarga superior.

El foso evita la contaminación del agua en caso de fuga del tanque, pero a causa de su gran área de superficie, la vaporización, sobre todo de líquidos inflamables, se acelera y es posible que se superen los límites de mezclado que dan pie a la aparición de explosiones, lo que no sucedería con un tanque de doble pared.

A causa de las complejas técnicas de medición y análisis en combinación con un sistema a prueba de fallos de válvulas de cierre redundantes, los tanques de doble pared verticales y horizontales con salidas en el fondo, un sistema patentado, han sido aprobados por el Deutsches Institut für Bautechnik para el almacenamiento de líquidos contaminantes del agua, tanto inflamables como no inflamables.

Otro sistema equipado con descarga en la parte inferior del tanque aprobado por el Deutsches Institut für Bautechnik para el almacenamiento de líquidos contaminantes del agua inflamables y no inflamables es un tanque de acero de doble pared con control de la descarga inferior a través de dos válvulas independientes de abertura y cierre simultáneos. Véase la Figura 4.11: las dos válvulas situadas tras la abertura corresponden a las paredes interior y exterior del tanque. La estanquidad de ambas válvulas en posición cerrada se controla de forma continua a través del dispositivo de detección de fugas y es un sistema adicional al de detección de fugas del espacio de contención secundaria del propio tanque. La válvula de doble pared está patentada; se describe con más detalle en el apartado 4.2.9.7.

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno.

Aplicabilidad: Utilizado en Alemania para el almacenamiento de líquidos contaminantes del agua inflamables y no inflamables.

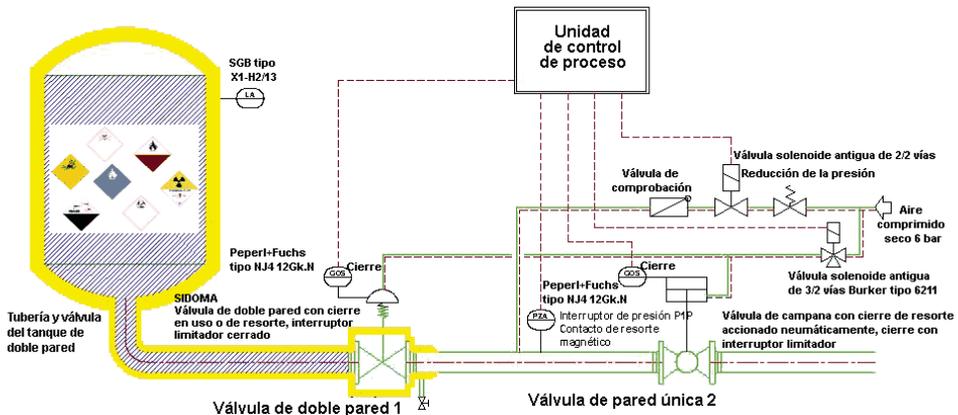


Figura 4.11: Tanque de doble pared con la salida en la parte inferior y válvula de doble pared patentada. [160, Sidoma Systeme GmbH, 2003]

Aspectos económicos: Si se contabilizan todos los costes de un foso adecuado y de las demás medidas de protección de un tanque de pared única a menudo resulta más económico un tanque de doble pared con salida en la parte inferior. Lo mismo puede decirse del mantenimiento.

En tanques de nueva construcción, el sistema de doble válvula es más económico que el uso de un tanque vertical de pared única con un foso apropiado y más caro que un tanque vertical de doble pared con descarga por la parte superior.

Bibliografía de referencia: [126, Walter Ludwig, 2001] [160, Sidoma Systeme GmbH, 2003]

4.1.6.1.16. *Tanques de doble pared subterráneos*

Descripción: La Figura 3.15 muestra un tanque de doble pared típico. Los tanques que almacenan gasolina (con MBTE) u otros combustibles normalmente son de pared doble (o de pared única con contención, véase el apartado 4.1.6.1.17) y están equipados de un detector de fugas.

Información operativa: No es posible remodelar un tanque de pared única existente para convertirlo en uno de doble pared.

Aplicabilidad: La necesidad de utilizar un tanque de doble pared depende, por supuesto, de la sustancia que almacene. En el caso de la gasolina con contenido de MBTE, una sustancia altamente contaminante para las aguas subterráneas, el empleo de tanques dobles es una práctica común, si bien para el almacenamiento de propano o butano normalmente se utilizan tanques de pared única.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Energía/residuos/efectos cruzados: Las fugas podrían reciclarse; en caso contrario deben eliminarse adecuadamente.

Bibliografía de referencia: [18, UBA, 1999] [132, Arthur D. Little Limited, 2001]

4.1.6.1.17. *Tanques subterráneos de pared única con contención secundaria*

Descripción: Una alternativa a los tanques de pared doble descritos en el apartado 4.1.6.1.16 consiste en equipar los tanques de pared única con un espacio de contención secundario dotado de detección adicional de fugas para controlar la entrada de líquido en la zona de contención. Ésta está recubierta de un material impermeable que evita las fugas y tiene la misma altura que el nivel máximo de líquido o, según algunos datos, incluso una capacidad un 25 % superior a la capacidad del tanque al que está unida.

Información operativa: Es posible remodelar un tanque de pared única.

Aplicabilidad: La necesidad de utilizar un espacio de contención depende, por supuesto, de la sustancia que almacene el tanque. En el caso de la gasolina con contenido de MBTE, una sustancia altamente contaminante para las aguas subterráneas, el empleo de la contención (o de tanques dobles) es una práctica común.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Energía/residuos/efectos cruzados: Las fugas podrían reciclarse; en caso contrario deben eliminarse adecuadamente.

Bibliografía de referencia: [132, Arthur D. Little Limited, 2001] [114, UBA, 2001]

4.1.6.2. PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS, EQUIPO DE EXTINCIÓN Y CONTENCIÓN

4.1.6.2.1. *Zonas inflamables y fuentes de ignición*

Descripción: En determinadas áreas, las atmósferas inflamables pueden crearse a consecuencia del funcionamiento normal o a causa de derrames y vertidos accidentales. Estas áreas se llaman zonas peligrosas y requieren medidas de prevención o, en caso de que no sean posibles, el control de las fuentes de ignición. Clasificar estas áreas es un método que permite detectar dónde podrían

producirse contextos con concentraciones de gases o vapores presentes. Existen tres tipos de zonas que, con sus correspondientes definiciones, se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 4.8: Definición de zonas [37, HSE, 1998]

Zona	Definición
Zona 0	Área con una mezcla de gas explosiva presente de forma continuada o durante largos períodos
Zona 1	Área en la que es posible que se cree una mezcla de gas explosiva durante el funcionamiento normal
Zona 2	Área en la que no es probable que se cree una mezcla de gas explosiva durante el funcionamiento normal pero que, en caso de producirse, probablemente lo haría de forma infrecuente y únicamente durante un período de tiempo breve.

Para más detalles, véase la Directiva 1999/92/CE, relativa a las disposiciones mínimas para la mejora de la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas (ATEX).

Medidas para evitar mezclas de gases explosivas:

- evitar la formación de una mezcla vapor-aire sobre el líquido almacenado, por ejemplo instalando un techo flotante;
- reducir la cantidad de oxígeno presente sobre el líquido almacenado sustituyéndolo por un gas inerte (inertización);
- almacenar el líquido a una temperatura segura para evitar que la mezcla de gas-aire alcance el umbral de explosión.

El siguiente paso consiste en registrar dónde se encuentran las zonas en un plano, que posteriormente puede servir para impedir la presencia de fuentes de ignición en zonas peligrosas. Entre las fuentes de ignición más comunes destacan las siguientes:

- equipo eléctrico sin protección,
- llamas desnudas, incluidas las de los equipos de soldadura y cortado,
- materiales fumíferos,
- vehículos (o unidades de procesamiento de vapor) con motores de combustión interna,
- superficies calientes,
- formación de calor o de chispas por fricción,
- electricidad estática.

Por lo general, la electricidad estática puede evitarse o reducirse a partir de medidas como:

- la baja velocidad del líquido en el interior del tanque;
- la incorporación de aditivos antiestáticos que aumenten las propiedades de conducción eléctrica del líquido.

Bibliografía de referencia: [3, CPR, 1984] [37, HSE, 1998]

4.1.6.2.2. *Protección contra incendios*

Descripción: Para evitar que los tanques se afecten unos a otros en caso de incendio es práctica común mantener una distancia de separación suficiente entre ellos y en relación con las vallas y edificaciones. Existen diferentes códigos nacionales que establecen directrices sobre las distancias consideradas seguras; en el anexo 8.18. se incluye un ejemplo.

Puede que sea necesario habilitar medidas de protección contra incendios cuando las condiciones de mantenimiento no sean las ideales, por ejemplo si es difícil lograr las distancias de separación adecuadas. Los siguientes elementos podrían proporcionar protección en caso de incendio:

- revestimientos o recubrimientos antiincendios
- muros contra fuegos (sólo en los tanques más pequeños)
- sistemas de refrigeración por agua.

Para evitar el desmoronamiento de un tanque resulta crucial impedir el sobre calentamiento de los puntos de apoyo del tanque, por ejemplo aislándolos y/o equipándolos con instalaciones de aspersión de agua.

Bibliografía de referencia: [3, CPR, 1984] [28, HMSO, 1990, 37, HSE, 1998]

4.1.6.2.3. *Equipo de lucha contra incendios*

Descripción: El equipo de lucha contra incendios para el almacenamiento en grandes cantidades de líquidos inflamables depende de la cantidad y del tipo de líquido y de las condiciones de almacenamiento. Los Estados miembros utilizan distintas directrices muy detalladas cuyo minucioso análisis escapa al objeto del presente documento. En este apartado sólo se expondrán los principios generales. La decisión sobre si el nivel del equipo de lucha contra incendios es el adecuado debe adoptarse caso por caso y de acuerdo con el cuerpo de bomberos local.

Los extintores a base de polvo seco o espuma son adecuados para hacer frente a los incendios provocados por pequeñas fugas de líquido inflamable. Los extintores

de CO₂ se utilizan para apagar los fuegos eléctricos. Agrupar los extintores por parejas para proteger los equipos en caso de fallo es una buena práctica.

Entre las instalaciones que permiten luchar contra incendios de mayor envergadura se encuentran las tomas de suministro de agua adecuadas para ser utilizadas por los bomberos y para refrigerar los tanques expuestos al calor de incendios cercanos.

Los sistemas de aspersión de agua fijos o los equipos de control portátiles son una ventaja, pero normalmente sólo se emplean cuando las condiciones de almacenamiento no son las ideales, por ejemplo cuando no es posible lograr distancias de separación adecuadas.

Bibliografía de referencia: [37, HSE, 1998] [3, CPR, 1984]

4.1.6.2.4. *Contención de agente extintor contaminado*

Descripción: La escorrentía que provoca el agua utilizada para apagar incendios es enorme; por ello podrían utilizarse interceptores o sistemas de drenaje especiales que minimicen el riesgo de contaminación de los cursos de agua cercanos. La capacidad de contención de agente extintor contaminado depende de las circunstancias locales, por ejemplo de qué sustancias se almacenan y si el depósito se encuentra cerca de cursos fluviales y/o está ubicado en un área de captación de agua. A continuación se incluyen dos ejemplos extraídos de la bibliografía [28, HMSO, 1990] que ilustran la necesidad de disponer de medidas exhaustivas de contención en unas instalaciones del Reino Unido:

- un tanque que contiene diisocianato de tolueno se encuentra dentro de diques de contención completa totalmente aislados de los sistemas de drenaje del agua;
- un tanque que contiene monómero de cloruro de vinilo requiere protección contra incendios para prevenir el sobrecalentamiento y el desmoronamiento, por lo que se ha aislado y/o dotado con instalaciones de aspersión de agua. El tanque está ubicado en una zona de contención con muros de menos de 1 m de altura para que los vapores no se acumulen e inclinada para que las fugas de líquido no permanezcan debajo del tanque. El área de contención es capaz, además, de albergar el agua utilizada para apagar el incendio.

Esta necesidad de contención puede solventarse, en caso necesario y si, por ejemplo, la captura de los vapores no es un problema, con un tanque claramente distinguible de los utilizados para el almacenamiento de productos, como puede observarse en una terminal de Oiltanking en Kotka, Finlandia.

Información operativa: La adecuada contención de agente extintor contaminado requiere la intervención de ingenieros profesionales.

Aplicabilidad: La contención es aplicable tanto a plantas nuevas como ya existentes y se utiliza ampliamente en Europa. Conviene destacar, sin embargo, que las normativas que regulan productos concretos difieren entre los Estados miembros.

Cuestiones de seguridad: La contención de un producto vertido puede reducir el riesgo de expansión de los incendios.

Energía/residuos/efectos cruzados: El agente extintor contaminado es un residuo que debe tratarse y/o eliminarse, en función del grado de contaminación. Los tratamientos biológicos y la incineración son dos opciones posibles.

Aspectos económicos: Imposibles de cuantificar.

Bibliografía de referencia: [28, HMSO, 1990] [37, HSE, 1998] [175, TWG, 2003]

4.1.7. MCE para el almacenamiento de contenedores: incidentes y accidentes (graves)

No se producen pérdidas operativas al almacenar materiales peligrosos embalados. Las únicas emisiones posibles provienen de incidentes y accidentes (graves). Existen tres contextos que de forma individual o conjunta tienen potencial de provocar daños o lesiones de significación. En la Tabla 4.9 se muestran en forma de lista junto a algunas de sus posibles causas.

Entre las MCE posibles se encuentran no sólo aspectos de diseño, como la construcción y la ingeniería o las normas de instalación, sino también las buenas prácticas de gestión y procedimientos operativos que se tratan a continuación.

4.1.7.1. GESTIÓN DE LA SEGURIDAD Y DEL RIESGO

Descripción: El almacenamiento de sustancias peligrosas embaladas también puede entrar dentro del ámbito de aplicación de la Directiva Seveso II (Directiva 96/82/CE del Consejo relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas). Véase el apartado 4.1.6.1, también válido para el almacenamiento de sustancias peligrosas en contenedores.

Tabla 4.9: Principales contextos relativos al almacenamiento de materiales peligrosos embalados [35, HSE, 1998]

Contexto	Ejemplos de posibles causas
Incendio	<ul style="list-style-type: none"> • ignición a continuación de un derrame o vertido • autocombustión • pirómanos • fallos eléctricos (intercambiadores de calor, cocedores, motores, etc.) • actividades peligrosas (soldadura, termosellado, fumar, cargar baterías, etc.) • circunstancias externas (rayos, impactos, incendios en propiedades adyacentes).
Explosión	<ul style="list-style-type: none"> • incendio • derrames de sustancias químicas o inflamables incompatibles.
Vertido de sustancias peligrosas	<ul style="list-style-type: none"> • fallo de contención • impacto provocado por vehículos u otros objetos • errores de operador: llenado, descarga. etc.

Normalmente se designa responsable a una persona (por ejemplo un miembro veterano del personal) de la seguridad de las operaciones del almacén, con responsabilidad sobre la identificación, la valoración, la manipulación y el almacenamiento de todas las sustancias peligrosas que alberga la planta. Para que su almacenamiento sea seguro es indispensable que esa persona haya recibido formación y tenga conocimientos sobre las propiedades de las sustancias peligrosas. Las personas responsables del funcionamiento del almacén requieren formación específica sobre procedimientos de emergencia; normalmente también es necesario que actualicen esa formación. Los demás miembros del personal de la planta deben estar informados sobre los riesgos que representa almacenar sustancias peligrosas embaladas y las precauciones necesarias para hacerlo de forma segura en caso de sustancias con distintos niveles de peligrosidad.

Para ello se suelen redactar procedimientos de funcionamiento que forman la base de la formación del personal y que podrían incluir los siguientes aspectos:

- tipos de productos peligrosos almacenados, sus propiedades, incompatibilidades y peligros, entre ellos el reconocimiento de etiquetas de riesgo y la comprensión del contenido de la ficha técnica de los materiales;
- procedimientos generales de manipulación segura;
- (uso de vestimenta de protección) y procedimientos para hacer frente a las fugas y derrames;
- buenas prácticas y registro de las sustancias almacenadas;
- informar sobre las anomalías e incidentes, también fugas y derrames de importancia menor;
- procedimientos de emergencia, entre ellos dar la alarma y usar equipo de lucha contra incendios adecuado.

Información operativa: El alcance y el nivel de detalle de los procedimientos operativos y la formación arriba descritos depende de la cantidad de sustancias almacenadas, su riesgo específico y la ubicación del almacén. El almacenamiento conjunto de productos de riesgo múltiple es una actividad de riesgo elevado que requiere planteamientos de gestión muy pormenorizados y personal altamente cualificado.

Aplicabilidad: Se utiliza en toda Europa..

Bibliografía de referencia: [35, HSE, 1998]

4.1.7.2. CONSTRUCCIÓN Y VENTILACIÓN

Descripción: En la Figura 4.12 puede observarse un esquema general de un área de almacenamiento externa para contenedores, mientras que la Figura 4.13 y la Figura 4.14 ilustran diseños generales de los edificios de almacenamiento. Son varias las normas que son de aplicación para el correcto diseño de los edificios y las células de almacenamiento. Los armarios no se analizan.

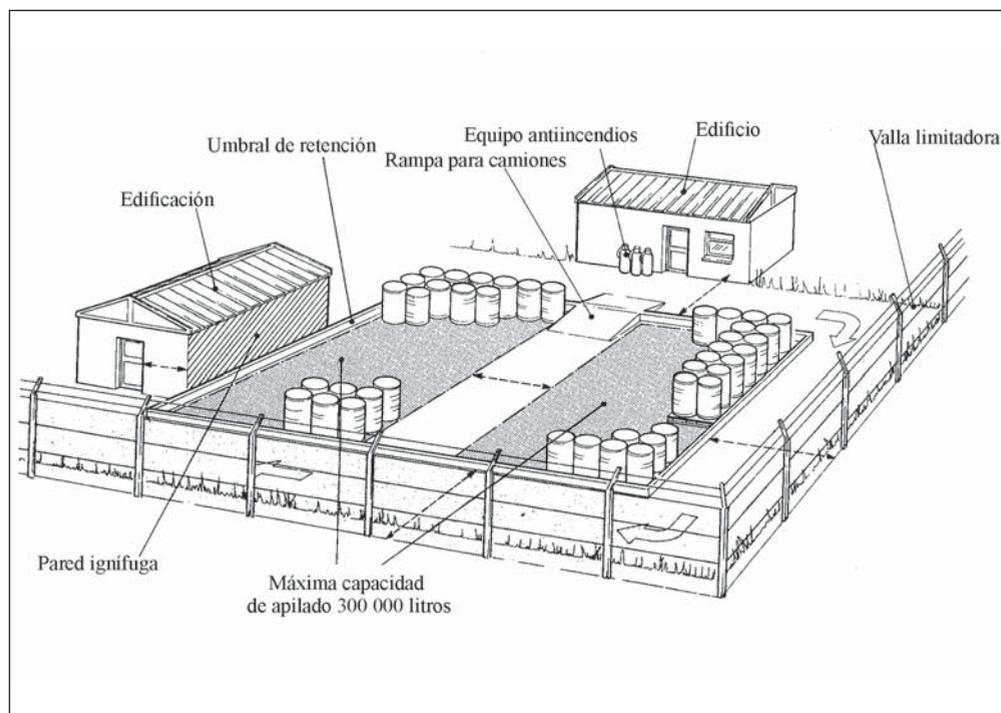


Figura 4.12: Esquema general de un área de almacenamiento externo para contenedores [36, HSE, 1998]

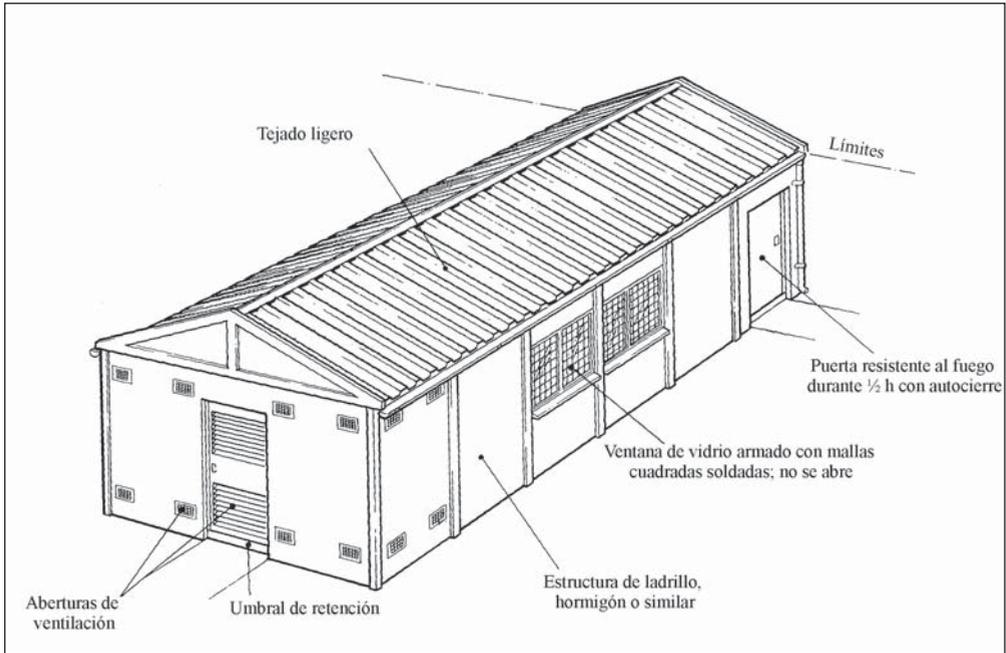


Figura 4.13: Ejemplo de edificio de almacenamiento externo resistente al fuego [36, HSE, 1998]

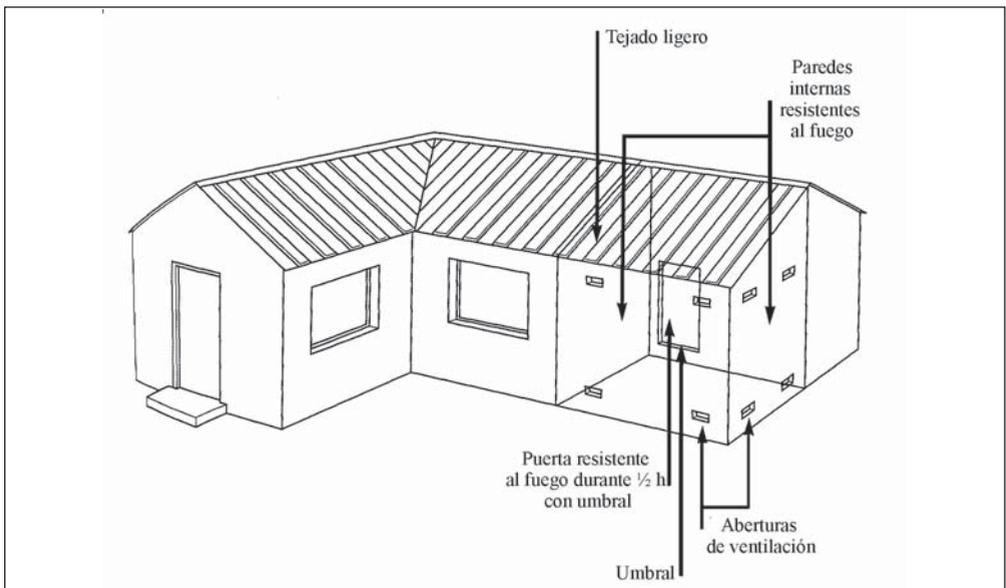


Figura 4.14: Ejemplo de un edificio de almacenamiento interno resistente al fuego [36, HSE, 1998]

Áreas y edificios de almacenamiento

El suelo del edificio es de material incombustible, impermeable y resistente a las sustancias almacenadas. No dispone de aberturas que conecten directamente con sistemas de alcantarillado o aguas superficiales a parte de las previstas para la recogida controlada de agente extintor o materiales vertidos. Los suelos, paredes y cualquier entrada a los edificios de almacenamiento disponen de receptáculos impermeables (que se analizan en el apartado 4-1-7.5). El suelo del edificio o área de almacenamiento donde se almacenan gases con una gravedad específica superior a la atmosférica tienen la misma altura que las edificaciones circundantes.

Los edificios de almacenamiento normalmente cuentan con un techo construido a partir de materiales ligeros, lo que permite que mitiguen posibles explosiones sin alterar la estructura restante del edificio en absoluto. [36, HSE, 1998] En lugar de un techo ligero el edificio puede dotarse de una ventana de venteo intencionado en otro lugar, pero deberá estar ubicado en una zona donde se evite cualquier riesgo o daño a los alrededores en caso de explosión. Una alternativa a estos mecanismos de alivio de las explosiones consiste en usar ventilación mecánica de los gases de combustión, que deberá diseñarse para cada circunstancia concreta.

Para evitar que se acumulen concentraciones peligrosas de vapores inflamables en un edificio o área de almacenamiento a causa de una fuga, el espacio deberá estar convenientemente ventilado. Si los contenedores se depositan al aire libre los vapores pueden dispersarse eficazmente de forma natural y las fugas o derrames se detectan rápidamente. En un edificio de almacenamiento, el número de renovaciones de aire de la sala depende de la naturaleza de los materiales almacenados y del diseño espacial. Por ejemplo, si la sala contiene materiales en forma de polvo, el número mínimo de renovaciones de aire es de una por hora. En el caso de líquidos (muy) inflamables y materiales tóxicos muy volátiles, el número mínimo de renovaciones de aire es de cuatro o cinco a la hora. Normalmente no se instalan aberturas de ventilación en ninguna partición diseñada a prueba de incendios. Cuando ello no sea posible, dichas aberturas deberán cerrarse automáticamente en caso de incendio. Son varias las normas que contienen información sobre los principios de ventilación y de diseño que permiten la aireación (natural) de los edificios, aunque normalmente es necesario recurrir a un ingeniero experto en ventilación.

Para protegerlas de la luz del sol directa y la lluvia, las zonas de almacenamiento externo pueden equiparse de un techo, si bien en determinados casos la construcción de un techo podría provocar problemas estructurales o dificultar la extinción de incendios. A diferencia del almacenamiento interior, en el caso del almacenamiento exterior es de vital importancia que los contenedores de cualquier material peligroso sean capaces de resistir todas las condiciones climáticas posibles.

Para garantizar una adecuada ventilación de las zonas de almacenamiento exterior normalmente sólo se construyen muros cortafuegos a un lado de la pila de contenedores.

Células de almacenamiento

Los suelos, muros y paredes de separación de los compartimentos se construyen a partir de materiales incombustibles y resistentes a las sustancias almacenadas. En un determinado lugar de la célula de almacenamiento existe una ventana de venteo que se destruye en caso de explosión pero deja intacta la estructura restante de la célula.

Para impedir que se acumulen concentraciones peligrosas de vapores inflamables en la célula de almacenamiento ésta dispone de un sistema de ventilación al exterior adecuado consistente en aberturas diametralmente opuestas en una pared cerca del suelo (aunque por encima del receptáculo impermeable) y cerca de la parte superior de una pared o en la cubierta superior. Además, debe habilitarse un sistema que evite la ignición de los líquidos inflamables desde el exterior a través de las aberturas de ventilación, por ejemplo un mecanismo de cierre automático.

Información operativa: El almacenamiento en el exterior resulta operativamente más sencillo porque se ventila de forma natural y las fugas o derrames pueden observarse rápidamente; además, su estructura es más sencilla que la de un edificio de almacenamiento.

Aplicabilidad: Los edificios, las células y los emplazamientos al aire libre dedicados al almacenamiento se utilizan en toda Europa. Las zonas de almacenamiento al aire libre son más fáciles de construir, pero necesitan más espacio que un edificio o una célula de almacenamiento.

Las células de almacenamiento normalmente se utilizan para albergar pequeñas cantidades de sustancias peligrosas, hasta 2500 kg o l.

Cuestiones de seguridad: Para el almacenamiento seguro de sustancias peligrosas resulta imprescindible que la estructura y la ventilación sean adecuadas.

Energía/residuos/efectos cruzados: Las instalaciones de almacenamiento ventiladas de forma natural necesitan menos energía que las alternativas de ventilación forzada.

Aspectos económicos: Imposibles de cuantificar.

Bibliografía de referencia: [7, CPR, 1992, 8, CPR, 1991, 35, HSE, 1998, 36, HSE, 1998, 45, Vlaanderen]

4.1.7.3. POLÍTICA DE SEPARACIÓN DE SUSTANCIAS

Descripción relativa a las instalaciones de almacenamiento externo: Constituye una buena práctica almacenar los líquidos inflamables convenientemente alejados de otros procesos y de áreas de almacenamiento general. La mejor manera de conseguirlo es la separación física, aunque alternativamente puede crearse una barrera física como, por ejemplo, un muro o una partición. Las distancias de separación mínimas recomendadas dependen de la cantidad de líquido inflamable almacenado. Las distancias que indica la Tabla 4.10.

Tabla 4.10: Distancias de separación mínimas en caso de almacenamiento exterior de líquidos inflamables [36, HSE, 1998]

Cantidad almacenada en el exterior, en litros	Distancia (en metros) respecto a edificios ocupados, límites, unidades de proceso, tanques de almacenamiento de líquidos inflamables o fuentes de ignición fijas
hasta 1000	2
1000 – 100 000	4
por encima de 100 000	7,5

Notas:

- 1) El tamaño máximo de almacenamiento mediante pilas es de 300 000 l, con al menos 4 m de separación entre ellas
- 2) Los contenedores no pueden almacenarse dentro del dique de contención de un tanque de almacenamiento de líquidos inflamables fijo ni a una distancia inferior a 1 m respecto al muro de contención

Las medidas de protección adicionales pueden ser pasivas, como un muro corta-fuegos, o activas, como los sistemas de extinción por agua, por ejemplo aspersores o sistemas de control. Cuando se instalan estos equipos podría estar justificada una reducción de las distancias mínimas de separación.

En el Reino Unido, los muros cortafuegos se definen como paredes, pantallas o particiones sin perforaciones resistentes al fuego durante un mínimo de 30 minutos. Protegen los contenedores de líquido inflamable de los efectos del calor irradiado por las llamas cercanas. Los muros cortafuegos también pueden proporcionar una distancia de dispersión adecuada respecto a edificios, límites, fuentes de ignición, etc., en presencia de líquido inflamable o de fugas de gas de algún contenedor. Para ello se construyen estructuras de hormigón, mampostería o ladrillos. En los Países Bajos, la resistencia al fuego de las puertas, trampillas y ventanas se determina de acuerdo con una norma NEN. Como último ejemplo, en Flandes, Bélgica, los muros cortafuegos consisten en paredes de mampostería con un grosor mínimo de 18 cm, de hormigón con un grosor de al menos 10 cm o bien de otros materiales con un grosor suficiente para garantizar la misma resistencia en caso de incendio.

Las distancias de separación respecto a líquidos muy inflamables en bidones u otros contenedores transportables parecidos almacenados en el exterior se muestran en la Figura 4.15.

En los Países Bajos, un almacén exterior para materiales peligrosos o pesticidas con una capacidad de más de 10 toneladas se sitúa a al menos 10 metros de distancia de la vegetación inflamable y de instalaciones que alberguen materiales inflamables. Se requiere una distancia mínima de 3 metros para el almacenamiento de otros productos, una distancia que puede reducirse a 2 metros en caso de que el muro cortafuegos tenga una resistencia de al menos 60 minutos.

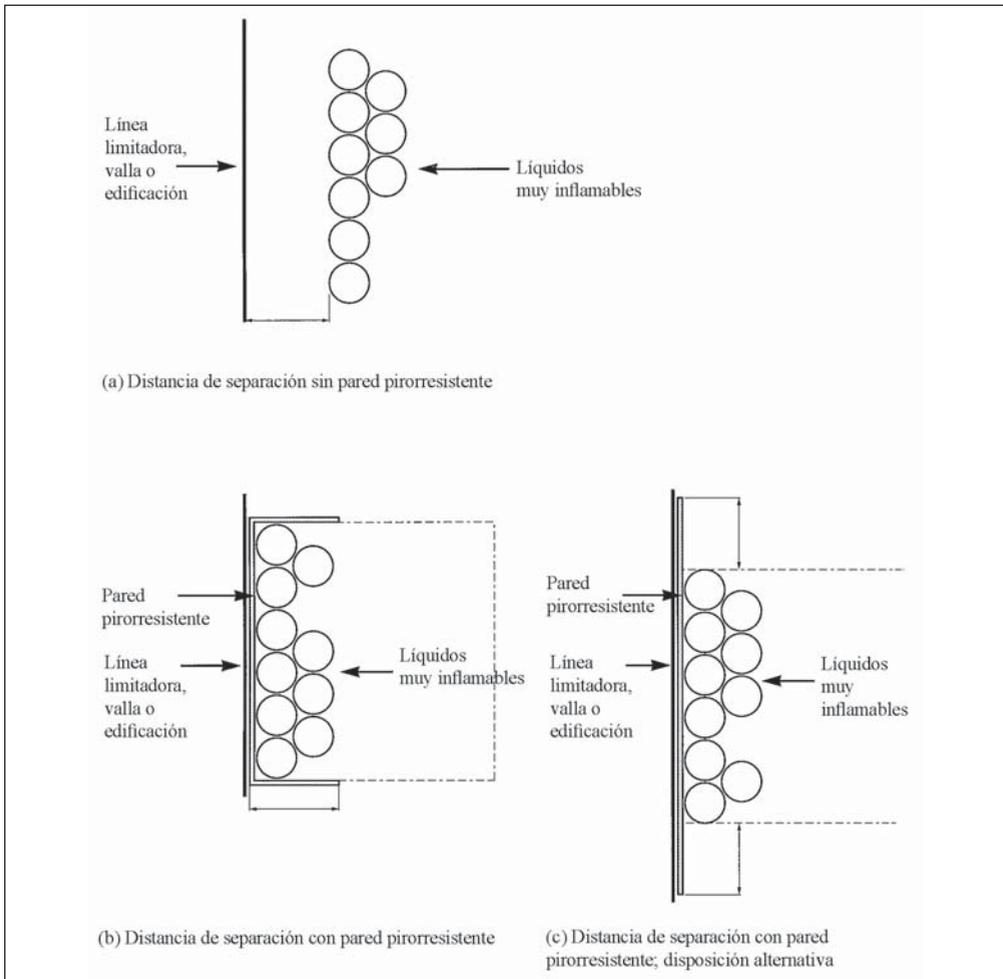


Figura 4.15: Distancias de separación para líquidos muy inflamables almacenados en bidones o contenedores similares en el exterior (vista superior) [36, HSE, 1998]

Las siguientes distancias corresponden al almacenamiento de materiales peligrosos embalados en instalaciones de menos de 10 toneladas en los Países Bajos:

Tabla 4.11: Distancias de separación mínimas de un almacén exterior para sustancias peligrosas [7, CPR, 1992, 8, CPR, 1991]

Cantidad de material peligroso, residuo químico o pesticida almacenado, en kg o l	Distancia hasta los límites de la planta (m)	Distancia de cualquier edificio que forme parte de la planta (m)
hasta 1000	3	5
más de 1000	5	10

Nota: El ámbito de aplicación de las referencias bibliográficas [7, CPR, 1992] y [8, CPR, 1991] se limita a las siguientes categorías de sustancias:

- oxidantes, a excepción de los peróxidos orgánicos y fertilizantes nitrosos
- sustancias muy inflamables, a excepción de aquellas que, a temperatura normal y sin intervención de energía, pueden aumentar la temperatura hasta llegar a explotar, aquellas en forma gaseosas que, bajo una presión normal, son inflamables al entrar en contacto con el aire o aquellas que, al entrar en contacto con el agua o el aire húmedo, generan gases muy inflamables en cantidades peligrosas
- sustancias inflamables
- sustancias muy venenosas
- sustancias venenosas
- sustancias corrosivas
- sustancias nocivas
- sustancias irritantes

Las distancias indicadas en la Tabla 4.11 pueden reducirse con la construcción de un muro cortafuegos o una estructura parecida.

Los almacenes exteriores que albergan más de 1000 kilogramos o litros de sustancias peligrosas muy inflamables, residuos químicos o pesticidas normalmente se sitúan una distancia de al menos 15 metros respecto a otras instalaciones de almacenamiento exteriores. Esta distancia también podría reducirse con la construcción de un muro contrafuegos o una estructura parecida.

En Flandes, también existen directrices que prevén distancias de seguridad y combinaciones de seguridad para el almacenamiento de gases en almacenes externos. Las distancias dependen del tipo de gas y de la cantidad almacenada y oscilan entre los 2 y los 7,5 metros. La construcción de un muro cortafuegos, al igual que en los dos ejemplos anteriores, permitiría reducir esas distancias. Véase la Tabla 8.32 del anexo 8.17.

Descripción relativa a los edificios de almacenamiento: En el Reino Unido, las distancias para el almacenamiento de líquidos inflamables en edificios exteriores que figuran en la Tabla 4.10 también son válidas. El uso de muros cortafuegos también es una posibilidad en zonas de edificios situadas dentro de las distancias de separación respecto a los límites u otros edificios, en concreto:

- son cortafuegos los muros situados en el lado limitante de los edificios y
- son cortafuegos los muros de edificios en ángulo recto respecto al límite durante una distancia de al menos 4 metros con relación a éste o bien si se prolongan por el límite a lo largo de al menos 4 metros más allá del almacén, a ambos lados.

La construcción de un edificio de almacenamiento con una resistencia en caso de incendio de 30 minutos puede acortar estas distancias. Véanse la Figura 4.13 y la Figura 4.14, donde se muestran ejemplos de almacenes resistentes al fuego externos e internos, respectivamente. Los muros del edificio de almacenamiento que forman parte de otra edificación normalmente tienen una resistencia en caso de incendio de 60 minutos.

En Flandes también rigen las mismas distancias para las zonas o edificios de almacenamiento externos que almacenan gases. La construcción de un muro cortafuegos puede reducir las distancias. Véase la Tabla 8.13 del anexo 8.17.

Si se superan las 10 toneladas de sustancias peligrosas o pesticidas almacenadas en un edificio dotado de una pared con una resistencia al fuego de 60 minutos, la distancia que se establece en los Países Bajos respecto a la vegetación inflamable y/o el almacenamiento de sustancias inflamables es de 5 metros.

Descripción relativa a las células de almacenamiento: Los suelos, muros y paredes de partición en las células de almacenamiento se construyen a base de materiales incombustibles y son resistentes a las sustancias que almacenan. Los suelos, muros y el techo tienen una piroresistencia de al menos 60 minutos.

Aplicabilidad: Los muros piroresistentes son válidos para instalaciones nuevas y ya existentes. Crear las distancias necesarias sin muros cortafuegos puede ser problemático en instalaciones existentes.

Cuestiones de seguridad: La creación de las distancias adecuadas y/o la construcción de muros resistentes al fuego apropiados es esencial para el almacenamiento seguro de sustancias peligrosas.

Aspectos económicos: Imposibles de determinar.

Bibliografía de referencia: [7, CPR, 1992, 8, CPR, 1991, 35, HSE, 1998, 36, HSE, 1998, 45, Vlaanderen] [6, CPR, 1992]

4.1.7.4. POLÍTICA DE SEPARACIÓN Y SEGREGACIÓN DE MATERIALES INCOMPATIBLES

Descripción: La intensidad de un incendio o la velocidad a la que se propaga podrían aumentar si se almacenan conjuntamente materiales incompatibles. Por

ejemplo, los agentes oxidantes aumentan considerablemente la gravedad de un incendio en el que se quema líquido inflamable. Además, los incendios podrían seguir extendiéndose hasta abarcar sustancias peligrosas que de por sí no son inflamables. La política de segregación intenta evitar que se produzcan escaladas de este tipo. En función de la naturaleza de los materiales almacenados podrían construirse particiones (divisiones) por medio de:

- pasillos de al menos 3,5 metros de ancho (3 metros en la referencia [35, HSE, 1998]);
- una partición física con una resistencia al fuego de 30 minutos basada exclusivamente en los criterios de piroresistencia;
- un muro resistente al fuego durante al menos 30 minutos;
- habilitación de una célula de almacenamiento o un armario en el interior del área, edificio o célula de almacenamiento.

El anexo 8.3 incluye recomendaciones sobre la segregación de sustancias peligrosas en función de su nivel de peligrosidad.

En Flandes las distancias dependen del tipo de gas y de la cantidad almacenada y oscilan entre los 2 a 7,5 m de los gases incompatibles y cero, en el caso de gases compatibles. Respecto a estos dos casos, la construcción de un muro cortafuegos supondría la reducción de las distancias. Véanse la Tabla 8.31 y la Tabla 8.32 del anexo 8.17: Distancias para el almacenamiento de bombonas de gas.

En los Países Bajos, se recomiendan como medidas de prevención tamaños máximos de sección y de superficie del suelo. El tamaño de una sección, obtenido a partir de alguno de los medios indicados arriba para albergar sólidos o líquidos inflamables, es inferior a los 300 m², mientras que la superficie total del suelo de las instalaciones de almacenamiento no llega a los 2500 m². Sin embargo, si se almacenan sustancias con un punto de inflamación inferior a 100 °C se recomienda una sección y una superficie del suelo menores. En las instalaciones existentes el área de superficie máxima puede tener un máximo de 4000 m².

Información operativa: Para implantar una política de segregación y separación apropiada se requiere personal con estudios y formación.

Aplicabilidad: Esta política es válida para plantas nuevas y ya existentes y se utiliza en toda Europa.

Cuestiones de seguridad: La puesta en marcha de una política de segregación y separación es esencial para el almacenamiento seguro de sustancias peligrosas.

Aspectos económicos: Imposibles de determinar.

Bibliografía de referencia: [8, CPR, 1991, 45, Vlaanderen,] [35, HSE, 1998]

4.1.7.5. CONTENCIÓN DE FUGAS Y AGENTE EXTINTOR CONTAMINADO

Descripción: Los suelos, paredes y cualquier entrada a los edificios de almacenamiento disponen de reservorios impermeables capaces de contener la totalidad o una parte (dependiendo de la sustancia) del líquido almacenado por encima o dentro del reservorio. Los reservorios pueden ser áreas de contención internas, en cremallera o bandejas de goteo situadas debajo de cada pallet y conectadas a un sistema de drenaje adecuado. Los derrames y el agua de la lluvia acumulada sólo se pueden bombear y descargar o eliminar apropiadamente una vez realizados los controles pertinentes. La disposición de los reservorios para derrames debe tener en cuenta la segregación del material para evitar que los vertidos lleguen hasta zonas en las que se almacenen materiales incompatibles.

El suelo de los distintos cubículos de la célula de almacenamiento está equipado con un reservorio impermeable capaz de contener al menos el 100 % de los líquidos peligrosos que alberga.

Si se produce un incendio en una instalación de almacenamiento no sólo hay riesgo de liberación de parte de las sustancias almacenadas, sino que también se genera agente extintor contaminado. Para evitar que estos materiales se infiltren en el suelo, el sistema de alcantarillado público o las aguas superficiales se instalan sistemas de recogida. Si se utiliza el mismo sistema de canalización para captar tanto las sustancias almacenadas como el agente extintor, la capacidad total de recogida vendrá determinada por la suma de la capacidad de recogida de producto y la de agente extintor. A causa de su capacidad de almacenamiento, las células normalmente no disponen de capacidad de acumulación de agente extintor.

A la hora de determinar las capacidades de recogida son varias las normas y normativas de aplicación; véase el anexo 8.1 sobre Códigos internacionales. La capacidad depende de varios parámetros como, por ejemplo, el material de embalado, la toxicidad e inocuidad de las sustancias almacenadas, la presencia de sustancias (muy) inflamables y la disponibilidad de equipo antiincendios. En aquellos casos en que se almacenen conjuntamente, por ejemplo, sustancias (muy) tóxicas o sustancias nocivas para el medio ambiente con sustancias (muy) inflamables, la capacidad de captación no sólo dependerá de la cantidad de sustancias acogidas, ya que el accidente ocurrido en noviembre de 1986 in Basilea (Sandoz) ha demostrado que en estas situaciones el agente extintor contaminado también debe recogerse.

Por lo que respecta al almacenamiento exterior, los sistemas previstos para la recogida de las sustancias vertidas además del posible agente extintor utilizado son los mismos que los correspondientes al almacenamiento. Cuando el almacén no tiene techo, normalmente se implantan medidas de descarga controlada del agua de la lluvia (posiblemente contaminada).

El sistema de recogida de agente extintor debe tener una estructura impermeable para evitar que se infiltre en el suelo, la red de alcantarillado o las aguas superficiales. El agente extintor contaminado se considera un producto residual y debería eliminarse como tal.

Existen las siguientes posibilidades a la hora de implantar medidas adecuadas de recogida de agente extintor:

- contención en el interior de las instalaciones de almacenamiento;
- una cámara situada debajo de las instalaciones de almacenamiento;
- una cámara subterránea situada fuera de las instalaciones de almacenamiento;
- un depósito parcial o completamente al aire libre.

Podría tratarse de un tanque claramente distinguible de otros utilizados para el almacenamiento de productos, como puede observarse por ejemplo en Oiltanking, Kotka, Finlandia. Aunque se trata de una planta terminal y no de un almacén de sustancias químicas, el principio es el mismo. También es posible reservar una parte concreta de la planta de tratamiento de aguas residuales para la recogida.

Información operativa: La instalación de medidas de contención de fuga y agente extintor contaminado requiere la intervención de un ingeniero profesional.

Aplicabilidad: La contención puede utilizarse en plantas nuevas y ya existentes y se emplea en toda Europa.

Cuestiones de seguridad: Los sistemas de contención son esenciales para el almacenamiento seguro de sustancias peligrosas.

Bibliografía de referencia: [8, CPR, 1991, 35, HSE, 1998, 117, Verband Chemiehandel, 1997]

4.1.7.6. PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS Y EQUIPO ANTIINCENDIOS

Descripción: Los niveles de protección de los sistemas de prevención y de extinción de incendios relativos al almacenamiento de materiales peligrosos y residuos químicos embalados superior a 10 toneladas o el almacenamiento de pesticidas pueden dividirse del modo siguiente:

1. sistemas de extinción (semi)automáticos o lucha contra incendios por parte del equipo de bomberos de la empresa, detección de incendios, sistema de recogida de agente extintor y medidas preventivas;
2. detección de incendios, sistema de recogida de agente extintor y medidas preventivas;

3. medidas preventivas.

El nivel de protección 1 implica la rápida detección en caso de disponer de sección de contención de incendios que pueda desplegarse (semi)automáticamente y permanecer operativa durante unos minutos. En el nivel de protección 2 también debe ser posible controlar y extinguir el incendio por medio de una acción bien coordinada y fiable desde un punto de vista operativo. Con todo, resulta aceptable que la extinción se inicie ligeramente más tarde y sin despliegues automáticos. El nivel 3 corresponde a la ausencia casi total de medidas de lucha contra incendios; en estos casos las medidas preventivas como, por ejemplo, la separación y la segregación, los sistemas de recogida adecuados y las precauciones frente a igniciones que se indican más abajo deberían poder proporcionar un nivel de protección suficiente.

Las instalaciones de almacenamiento a prueba de incendios para cantidades de producto más pequeñas (< 10 toneladas) normalmente están equipadas con uno o más extintores.

En función de la inflamabilidad del producto almacenado, la inflamabilidad del embalaje, la cantidad almacenada y la categoría en la que entren el material o la combinación de materiales (por ejemplo tóxicos o nocivos para el medio ambiente) será aplicable un determinado nivel de protección a cada almacén, que deberá decidirse caso por caso y con la participación del cuerpo de bomberos local.

Bibliografía de referencia: [8, CPR, 1991]

4.1.7.6.1. *Prevención de la ignición*

Descripción: Puede que existan fuentes potenciales de ignición, entre ellas: [35, HSE, 1998]

- tabaco y objetos de fumador;
- tareas de mantenimiento, en especial trabajo en caliente;
- suministro eléctrico;
- almacenes situados cerca de tuberías calientes o puntos de luz;
- pirómanos;
- sistemas de calentamiento dotados de llama viva;
- vehículos de almacén e instalaciones de recarga de baterías;
- máquinas de termosellado alimentadas con GLP.

Tabaco y objetos de fumador

El tabaco y los objetos de fumador han sido causa de muchos incendios. La única forma posible de evitarlo es prohibir fumar en las zonas de almacenamiento y habilitar zonas específicas en las que fumar no represente ningún riesgo.

Trabajo en caliente

Éstas son algunas de las precauciones habituales:

- despejar, hasta donde resulte posible, el área de trabajo de cualquier material inflamable o combustible;
- comprobar la inflamabilidad o la combustibilidad del material situado a un lado de la partición o muro cuando se realicen trabajos al otro lado;
- disponer de extintores adecuados en las cercanías y mantener una actitud vigilante frente a posibles incendios mientras dure el trabajo;
- proteger el material combustible que no puede alejarse a través de pantallas o particiones apropiadas;
- examinar la zona exhaustivamente una vez concluido el trabajo para comprobar que no ha quedado ningún rescoldo;
- detener todo el trabajo en caliente durante un período de tiempo de seguridad al final de la jornada laboral.

Equipo eléctrico

Es una buena práctica disponer de un interruptor principal y un panel de distribución en una sala aparte resistente al fuego, situada junto a la puerta principal del almacén o, preferiblemente, que sea accesible directamente desde el exterior. Si se instala equipo eléctrico en el almacén, por ejemplo iluminación, los materiales inflamables deberán alejarse de él. Normalmente, el equipo eléctrico situado en ambientes peligrosos se protege para prevenir posibles peligros, lo que puede lograrse eligiendo equipos fabricados de acuerdo con normas de protección frente a explosiones (por ejemplo normas British Standard o NEN).

Vehículos

Los vehículos que circulen por áreas peligrosas deben estar protegidos de acuerdo con las normas apropiadas para evitar la ignición de vapores inflamables.

Sistemas de calentamiento

Normalmente se utilizan sistemas de calefacción indirectos porque no representan una fuente de ignición, por ejemplo radiadores calentados por medio de tubos de agua caliente procedentes del exterior.

Procesos de termosellado

Es preferible no realizar procesos de termosellado en la zona de almacenamiento, sino en un edificio aparte o en un compartimiento especialmente diseñado para tal fin dentro del edificio. Una alternativa al termosellado es la envoltura conformada por estiramiento, mucho más segura, aunque en algunos casos no puede sustituir el termosellado.

Información operativa: Todas las medidas de prevención de la ignición son sencillas y fáciles de utilizar.

Aplicabilidad: Estas medidas de prevención son válidas tanto para las plantas nuevas como las ya existentes y se utilizan en toda Europa.

Cuestiones de seguridad: Los sistemas de prevención son esenciales para el almacenamiento seguro de sustancias peligrosas.

Aspectos económicos: Imposibles de determinar, aunque ninguna de las medidas de prevención citadas es especialmente cara.

Bibliografía de referencia: [8, CPR, 1991, 35, HSE, 1998]

4.1.7.6.2. *Sistemas de extinción de incendios*

Descripción: Los siguientes sistemas de extinción de incendios se consideran realistas y adecuados para instalaciones de almacenamiento de materiales peligrosos y residuos químicos con una capacidad de > 10 toneladas o que almacenen pesticidas:

1. sistema de aspersión automático;
2. sistema de inundación automático;
3. sistema de extinción de gases automático;
4. cuerpo de bomberos local dotado de un sistema de extinción en seco;
5. sistema Hi-Ex automático;
6. equipo de bomberos de la empresa dotado de un sistema de inundación manual;
7. equipo de bomberos de la empresa dotado de un sistema de extinción en seco;
8. actuación *in situ* del equipo de bomberos de la empresa (extinción interna).

Las características de estos sistemas se describen en el anexo 8.16, Características de los sistemas antiincendio.

Información operativa: Depende del sistema utilizado.

Cuestiones de seguridad: Las medidas de prevención son esenciales para el almacenamiento seguro de sustancias peligrosas.

Energía/residuos/efectos cruzados: Al utilizar el equipo de extinción de incendios es inevitable que se generen residuos químicos.

Bibliografía de referencia: [8, CPR, 1991]

4.1.8. MCE (operativas) para estanques y balsas: emisiones de gas

4.1.8.1. CUBIERTAS FLOTANTES

Descripción: Las cubiertas flotantes se utilizan en tanques, estanques y balsas para evitar la emisión a la atmósfera de vapores y, en especial, de olores. Véase el apartado 4.1.3.2 en él se describen el empleo de cubiertas flotantes en tanques de techo abierto.

Beneficios ambientales obtenidos: Al almacenar purines puede lograrse una reducción de las emisiones de amoníaco y olor. Se tienen datos de una reducción de las emisiones de amoníaco de aproximadamente el 95 % o más. La utilización de LECA redujo las emisiones de amoníaco en un 82 %.

Aplicabilidad: Las cubiertas flotantes se utilizan habitualmente.

Energía/residuos/efectos cruzados: Agitar la sustancia almacenada, por ejemplo fangos, supondría mezclar los fangos y la capa de LECA, lo que aumenta temporalmente las emisiones (de amoníaco). Se ha observado que la capa de LECA se restablece muy rápidamente después de la agitación y que las emisiones caían de nuevo a valores reducidos.

En el caso concreto del almacenamiento de purines, la capa de recubrimiento reduce o (si se trata de una cubierta de plástico) elimina el transporte de oxígeno entre el aire y el purín y aumenta la temperatura de éste en aproximadamente 2 °C. Este efecto crea condiciones anaeróbicas que provocan la rápida formación de metano. Agitar y mezclar los purines aumenta las emisiones de metano. La falta de oxígeno reduce la nitrificación y provoca la desnitrificación, lo que permite reducir significativamente o prevenir las emisiones de óxido nitroso. Las capas de LECA permiten la entrada de oxígeno, por lo que es posible que tenga lugar un proceso de (des)nitrificación y un aumento de las emisiones de óxido nitroso.

Aspectos económicos: Los costes de las cubiertas flotantes posiblemente se sitúen en torno a 15 – 25 EUR/m² (año 1999) de superficie expuesta. El coste de la LECA es de 225 – 375 EUR por tonelada (año 1999). Si es necesario modificar la estructura o contar con métodos de vaciado y agitación los costes serán superiores. La gestión del agua de la lluvia es lo que determina la diferencia en los costes de explotación; el uso de balsas cubiertas con LECA podría coincidir con un aumento de costes de aplicación de los fangos. En cuanto a las cubiertas de plástico, los costes netos dependen de las posibilidades de reutilización del agua, por ejemplo para riego.

Bibliografía de referencia: [119, EIPPCB, 2001]

4.1.8.2. CUBIERTAS DE PLÁSTICO O RÍGIDAS

Descripción: Las cubiertas para balsas utilizan láminas de plástico flexibles, impermeables y estabilizados frente a la radiación UV fijadas al perímetro y suspendidas por medio de flotadores. Las cubiertas de plástico podrían aumentar la capacidad efectiva de las balsas posiblemente en un 30 % al mantener fuera el agua de la lluvia.

Beneficios ambientales obtenidos: Por lo que respecta al almacenamiento de fangos, las cubiertas posibilitan una reducción de las emisiones de amoníaco y odoríferas. Se tienen datos de una reducción de las emisiones de amoníaco de aproximadamente el 95 % o más. El empleo de cubiertas también permite la recogida y el tratamiento de las emisiones; véase el apartado 4.1.3.15.

Información operativa: Las cubiertas rígidas son más habituales en balsas pequeñas construidas con hormigón.

Aplicabilidad: Es posible utilizar cubiertas diseñadas a medida en las balsas existentes (purines), a menos que:

- los accesos sean muy malos;
- la balsa sea muy grande (costes);
- el perímetro sea inestable.

Las balsas existentes deben vaciarse por completo para poder instalar las cubiertas. Los daños provocados por el viento no son un problema si la cubierta está bien anclada a los lados y si se mantiene sobre ella un poco de agua de la lluvia que haga de contrapeso.

Algunos datos indican una durabilidad de las cubiertas de 10 años, aunque se desconoce cuál es su grado de vulnerabilidad al desgaste y a los desperfectos (causados por animales de pastoreo).

Energía/residuos/efectos cruzados: Para cubrir una balsa se necesita una gran cantidad de plástico que podría medir hasta un 70 % más que el área de superficie de la propia balsa y que depende de la profundidad y de la inclinación de los extremos. Las cubiertas pueden ser reutilizables.

En el caso concreto del almacenamiento de purines, las cubiertas reducen o eliminan el transporte de oxígeno entre el aire y el purín y aumentan la temperatura de éste en aproximadamente 2 °C. Este efecto crea condiciones anaeróbicas que provocan la rápida formación de metano. Agitar y mezclar los purines aumenta las emisiones de metano. La falta de oxígeno reduce la nitrificación y provoca la desnitrificación, lo que permite reducir significativamente o prevenir las emisiones de óxido nitroso.

Aspectos económicos: Si es necesario modificar la estructura o contar con métodos de vaciado y agitación los costes serán superiores. La gestión del agua de la lluvia es lo que determina la diferencia en los costes de explotación. Las cubiertas de plástico tienen un coste neto que depende de las posibilidades de reutilización del agua, por ejemplo para riego. La utilización de biogás (metano) en caso de que se almacenen purines depende de la finalidad (calentamiento o motores) y de los requisitos de las instalaciones. Podría ser aprovechable, pero el período de amortización de los costes podría ser bastante prolongado (más de 20 años).

Bibliografía de referencia: [119, EIPPCB, 2001]

4.1.9. MCE (operativas) para estanques y balsas: emisiones al suelo y al agua

4.1.9.1. BARRERAS IMPERMEABLES

Descripción: Si la contaminación de las aguas subterráneas se considera un riesgo la balsa debería ser prácticamente impermeable. Las opciones posibles consisten en el recubrimiento mediante arcilla o una membrana sintética. Si se utiliza arcilla, la barrera debería contener un mínimo del 20 – 30 % para ser lo suficientemente estanca.

La arcilla debe compactarse hasta un grosor mínimo de 1 metro y una permeabilidad máxima de $1 \cdot 10^{-9}$ m/s. La instalación de las barreras debe correr a cargo de un contratista especializado que garantice que no se produzcan desperfectos durante la colocación. Las balsas de hormigón también son una opción.

Bibliografía de referencia: [119, EIPPCB, 2001] [113, TETSP, 2001]

4.1.10. MCE (operativas) para estanques y balsas: residuos

No se ha aportado información.

4.1.11. MCE para estanques y balsas: incidentes y accidentes

Los estanques y balsas no se utilizan para almacenar sustancias peligrosas, por lo que no se prevé que se produzcan accidentes graves. Uno de los posibles accidentes o incidentes es el sobrellenado a causa del agua de la lluvia, en caso de que el estanque o la balsa no esté cubierto.

4.1.11.1. PROTECCIÓN FRENTE A SOBRELLENADOS PROVOCADOS POR LA LLUVIA

Descripción: Es una práctica común que los estanques utilizados para almacenar fangos cuenten con un francobordo de 750 mm. Véase la Figura 3.17.

Información operativa: Suele utilizarse en la agricultura.

Aplicabilidad: Fácil de implantar.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Energía/residuos/efectos cruzados: La capacidad de almacenamiento disminuye.

Aspectos económicos: medida de bajo coste.

Bibliografía de referencia: [119, EIPPCB, 2001]

4.1.12. MCE (operativas) para cavidades excavadas (atmosféricas): emisiones de gas

4.1.12.1. COMPENSACIÓN DE VAPOR

Descripción: La compensación de vapor se utiliza en las cavidades excavadas atmosféricas con lecho fijo para el almacenamiento de hidrocarburos líquidos. Estos emplazamientos contienen varias cavidades conectadas unas con otras. Cuando una de ellas se llena, el vapor desplazado es transportado a las otras cavidades para evitar aumentos bruscos de la presión en la cavidad que se está rellenando. Se requiere un control riguroso del contenido para garantizar que las cavidades siempre estén disponibles para la recepción del vapor desplazado.

Información operativa: Se utiliza principalmente en instalaciones grandes dotadas de varias cavidades.

Aplicabilidad: Fácilmente adaptable a plantas grandes.

Cuestiones de seguridad: Es imprescindible seguir estrictamente los procedimientos de funcionamiento y/o un elevado nivel de automatización (alarmas de seguridad, sistemas de parada de emergencia, etc.)

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: Puede provocar la desclasificación de los hidrocarburos de un valor elevado a uno inferior si se llegan a mezclar.

Bibliografía de referencia: [150, Geostock, 2002]

4.1.13. MCE para cavidades excavadas (atmosféricas): incidentes y accidentes (graves)

4.1.13.1. GESTIÓN DE LA SEGURIDAD Y DEL RIESGO

Véase el apartado 4.1.6.1, donde se analiza la Directiva Seveso con respecto al almacenamiento de grandes cantidades de materiales peligrosos en tanques; la información resulta igualmente válida para el almacenamiento de grandes cantidades de sustancias peligrosas en cavidades o en cualquier otro tipo de sistemas.

4.1.13.2. CONTROL

Descripción: Es práctica común llevar a cabo un seguimiento a lo largo de toda la vida operativa de la cavidad para garantizar su estabilidad y la adecuada contención hidráulica de la misma. Los programas de seguimiento característicos incluyen lo siguiente:

- control del comportamiento del flujo hidráulico alrededor de las cavidades por medio de mediciones de las aguas subterráneas, piezómetros y/o células a presión, medición del flujo de agua infiltrada;
- valoración de la estabilidad de la cavidad mediante seguimiento sísmico;
- procedimientos de seguimiento de la calidad del agua a través de muestreos y análisis periódicos;
- control de la corrosión, también mediante la evaluación periódica de la carcasa.

El seguimiento requiere evaluaciones periódicas ininterrumpidas.

Información operativa: Todas las cavidades excavadas se someten a seguimiento.

Aplicabilidad: Aplicable a todos los tipos de cavidades excavadas, ya sean atmosféricas o presurizadas.

Cuestiones de seguridad: Deben establecerse procedimientos de seguridad y programas de seguimiento de estricto cumplimiento por parte de personal cualificado.

Bibliografía de referencia: [150, Geostock, 2002]

4.1.13.3. SEGURIDAD INTRÍNSECA

Descripción: El principio de seguridad principal que debe adoptarse es garantizar en todo momento que el hidrocarburo no pueda incendiarse bajo tierra gracias a la ausencia de oxígeno. Esta es la cualidad intrínseca de, entre otros tipos, las cavidades atmosféricas diseñadas con un lecho de agua fluctuante.

Las cavidades excavadas en la roca proporcionan una resistencia intrínseca elevada a los terremotos.

Aplicabilidad: El empleo de cavidades excavadas en la roca depende en gran medida de la estructura del lecho rocoso y el comportamiento de las aguas subterráneas.

Cuestiones de seguridad: Gracias a su naturaleza intrínseca, las cavidades son, con mucho, el sistema más seguro de almacenar grandes cantidades de hidrocarburos.

Energía/residuos/efectos cruzados: Las aguas subterráneas (agua infiltrada) bombeadas desde el interior de las cavidades deben someterse a tratamiento. Las cavidades con lecho fijo necesitan menos agua (y por lo tanto generan menos aguas residuales que tratar) que las cavidades de lecho de agua fluctuante.

Aspectos económicos: El punto de equilibrio financiero para la utilización de una cavidad excavada en la roca depende del hidrocarburo almacenado y las características geológicas del emplazamiento, aunque normalmente se sitúa a partir de una capacidad de 50 000 m³.

Bibliografía de referencia: [150, Geostock, 2002]

4.1.13.4. INERTIZACIÓN

Descripción: En los hidrocarburos más pesados, por ejemplo el gasóleo, puede producirse crecimiento bacteriano en la interfase hidrocarburos/agua y provocar una acumulación de metano en el espacio vacío. Por motivos de seguridad, en estos casos se realiza una inertización con nitrógeno.

Al vaciar una cavidad que contiene productos muy inflamables con una presión de vapor elevada (por ejemplo el petróleo), el producto se evapora y el espacio vacío se llena de una mezcla de gases de hidrocarburos hasta alcanzar un nivel más elevado que el límite de inflamabilidad superior. Al volver a llenar la cavidad, la presión aumenta y los hidrocarburos se condensan. Cuando se aplica la inertización con nitrógeno en estos casos sería necesario extraer el nitrógeno, que contiene COV, a la atmósfera al volver a llenar la cavidad. Por ello la inertización no suele utilizarse

habitualmente con productos muy inflamables. A pesar de todo, en determinadas cavidades atmosféricas de lecho fijo se utiliza la inertización mediante nitrógeno, aunque dependiendo del hidrocarburo almacenado, para garantizar totalmente que no puedan producirse explosiones en su interior.

Por motivos de seguridad es importante que, al poner en servicio una cavidad por primera vez, se purgue con nitrógeno antes de llenarla de producto.

Cuando se almacenan hidrocarburos crudos puede que se produzca una acumulación de metano o etano en el espacio vacío de la cavidad. Durante el llenado, estos vapores no vuelven (fácilmente) al hidrocarburo. En previsión, las cavidades están normalmente conectadas para poder compensar estos vapores. Así, cuando una cavidad se llena, los gases se desplazan a otras cavidades gracias al espacio disponible. Con el tiempo estos gases regresan al producto, lo que hace innecesaria y la inertización y la ventilación a la atmósfera.

Aplicabilidad: La inertización se utiliza ampliamente al almacenar hidrocarburos pesados. En determinadas cavidades atmosféricas de lecho fijo se utiliza habitualmente la inertización mediante nitrógeno para garantizar totalmente que no puedan producirse explosiones en su interior.

Energía/residuos/efectos cruzados: Por motivos de seguridad, la inertización puede ser necesaria en el caso de productos muy inflamables; la extracción del nitrógeno a la atmósfera se asume como una consecuencia del proceso.

Bibliografía de referencia: [176, EIPPCB, 2004]

4.1.13.5. MANTENIMIENTO DE LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA

Descripción: Para evitar que el hidrocarburo almacenado escape de la cavidad ésta se diseña de tal modo que, a la profundidad a la que se encuentra el producto, la presión hidrostática del agua subterránea circundante siempre es superior a la del hidrocarburo que contiene.

Información operativa: Todas las cavidades sin revestir se diseñan así.

Aplicabilidad: Esta técnica requiere un diseño adecuado y someterse a seguimiento durante toda la vida útil de operativa de las instalaciones para garantizar la estabilidad de la cavidad y su adecuada contención hidráulica.

Cuestiones de seguridad: Ninguno si la cavidad se diseña y controla correctamente.

Energía/residuos/efectos cruzados: Las aguas subterráneas (agua infiltrada) no son, en la mayoría de casos, miscibles con el hidrocarburo almacenado y se acumulan en el fondo de la cavidad, de donde deben ser bombeadas. Con todo, algunos hidrocarburos muy ligeros (por ejemplo el propano) pueden contener trazas (ppm) de agua y quizá deban secarse para que cumplan las exigencias de calidad establecidas.

Bibliografía de referencia: [150, Geostock, 2002]

4.1.13.6. Inyección de cemento

Descripción: La inyección de cemento en el techo y las paredes de las cavidades ayuda a minimizar la cantidad de agua infiltrada.

El agua infiltrada que accede a la cavidad se bombea al exterior y se somete a un tratamiento de aguas residuales. La refinería de Porvoo dispone de dos plantas de tratamiento de aguas residuales: una central de lodo activado (tratamiento químico y biológico) y una planta de carbón activado (con secciones de adsorción/regeneración), ambas bien equipadas para tratar aguas oleoginosas. En la refinería de Porvoo, la cantidad de agua residual descargada es de aproximadamente 1 m³ diario para un volumen de 5000 m³ de hidrocarburo, lo que equivale a 6 – 8 litros de agua infiltrada por cada m³ de volumen de la cavidad/año. El nivel de emisiones de COV alcanzado en las aguas residuales tratadas y liberadas al mar normalmente está debajo de 1 mg/l.

Información operativa: La cantidad de cemento necesaria depende de las características geológicas de la roca y de la profundidad de la cavidad.

Aplicabilidad: Fácil de aplicar a todas la cavidades excavadas.

Cuestiones de seguridad: La inyección de cemento no da lugar a problemas de seguridad concretos aparte del cumplimiento estricto de las normas y los procedimientos de seguridad de cualquier obra civil subterránea.

Aspectos económicos: Se trata de una técnica de bajo coste.

Bibliografía de referencia: [150, Geostock, 2002] [81, Neste Engineering, 1996]

4.1.13.7. SISTEMA DE BLOQUEO

Descripción: Los sistemas de bloqueo evitan los sobrellenos, ya que el sistema cierra la válvula del conducto de entrada cuando el nivel de la cavidad es demasiado alto.

Información operativa: Instalar un sistema de bloqueo es fácil en cualquier cavidad excavada.

Aplicabilidad: Los sistemas de bloqueo son fáciles de aplicar a cualquier cavidad excavada.

Cuestiones de seguridad: La utilización de un sistema de bloqueo es una medida de seguridad mínima. Existen otros mecanismos de protección antisobrellenados más sofisticados.

Aspectos económicos: Los sistemas de bloqueo son técnicas de bajo coste.

Bibliografía de referencia: [150, Geostock, 2002] [81, Neste Engineering, 1996]

4.1.13.8. PROTECCIÓN AUTOMATIZADA FRENTE A SOBRELLENADOS

Descripción: Los dispositivos de protección antisobrellenado pueden conectarse a un sistema de parada de emergencia que cierra todos los equipos del conducto de llenado (bombas, válvulas, etc.).

Información operativa: En las cavidades recién excavadas es práctica común instalar dispositivos de protección frente a sobrellenados sofisticados e integrados en el sistema de parada de emergencia.

Aplicabilidad: Los dispositivos de protección antisobrellenado conectados a sistemas de parada de emergencia son fáciles de implantar en instalaciones nuevas. En ocasiones también pueden instalarse en las ya existentes mediante remodelación. El sistema requiere respetar estrictamente los procedimientos de funcionamiento y/o un elevado nivel de automatización (alarmas de seguridad, sistemas de parada de emergencia, etc.). Es aplicable a todas las cavidades excavadas.

Cuestiones de seguridad: El nivel de seguridad es elevado. A pesar de todo, con las válvulas automáticas existe potencial de fallos de los sistemas situados en puntos anteriores de la red debido al efecto «golpe de ariete».

Aspectos económicos: Los sistemas de parada de emergencia sofisticados pueden ser costosos para las instalaciones nuevas, pero normalmente están justificados por motivos de seguridad y tienen efectos positivos para el medio ambiente. La remodelación, de ser posible, es una opción con un coste muy elevado.

Bibliografía de referencia: [150, Geostock, 2002]

4.1.14. MCE para cavidades excavadas (presurizadas): incidentes y accidentes (graves)

4.1.14.1. GESTIÓN DE LA SEGURIDAD Y DEL RIESGO

Véase el apartado 4.1.6.1, donde se analiza la Directiva Seveso con respecto al almacenamiento de grandes cantidades de materiales peligrosos en tanques; la información resulta igualmente válida para el almacenamiento de grandes cantidades de sustancias peligrosas en cavidades o en cualquier otro tipo de sistemas.

4.1.14.2. SEGUIMIENTO

El apartado 4.1.13.2 también es válido para las cavidades excavadas presurizadas.

4.1.14.3. SEGURIDAD INTRÍNSECA

Descripción: Las cavidades excavadas presurizadas no pueden incendiarse, por su propia naturaleza, debido a la ausencia de oxígeno en las profundidades.

Las cavidades excavadas en la roca proporcionan una resistencia intrínseca elevada a los terremotos.

Aplicabilidad: El empleo de cavidades excavadas en la roca depende en gran medida de la estructura del lecho rocoso y el comportamiento de las aguas subterráneas. La mayoría de cavidades excavadas son de tipo presurizado.

Cuestiones de seguridad: Gracias a su naturaleza intrínseca, las cavidades son, con mucho, el sistema más seguro de almacenar grandes cantidades de hidrocarburos.

Energía/residuos/efectos cruzados: Las aguas subterráneas (agua infiltrada) bombeadas desde el interior de las cavidades deben someterse a tratamiento.

Aspectos económicos: El punto de equilibrio financiero para la utilización de una cavidad excavada en la roca depende del hidrocarburo almacenado y las características geológicas del emplazamiento, aunque normalmente se sitúa a partir de una capacidad de 50 000 m³. En el caso del GPL y en condiciones típicas de Europa esta cifra es considerablemente menor (aproximadamente 10 000 m³).

Bibliografía de referencia: [150, Geostock, 2002]

4.1.14.4. VÁLVULAS DE SEGURIDAD

Descripción: Las válvulas de seguridad para fondos de pozo y otros mecanismos de seguridad garantizan que el hidrocarburo no pueda escapar en caso de emergencia en la superficie.

Información operativa: Las cavidades recientemente diseñadas están equipadas con estas medidas de seguridad.

Aplicabilidad: Esta técnica es válida para las cavidades nuevas, pero a veces es posible remodelar las ya existentes.

Bibliografía de referencia: [150, Geostock, 2002]

4.1.14.5. MANTENIMIENTO DE LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA

El apartado 4.1.13.5 también es válido para las cavidades excavadas presurizadas.

4.1.14.6. INYECCIÓN DE CEMENTO

El apartado 4.1.13.6 también es válido para las cavidades excavadas presurizadas.

4.1.14.7. SISTEMA DE BLOQUEO

El apartado 4.1.13.7 también es válido para las cavidades excavadas presurizadas.

4.1.14.8. PROTECCIÓN AUTOMATIZADA FRENTE A SOBRELLENADOS

El apartado 4.1.13.8 también es válido para las cavidades excavadas presurizadas.

4.1.15. MCE para cavidades salinas lixiviadas: incidentes y accidentes (graves)

4.1.15.1. GESTIÓN DE LA SEGURIDAD Y DEL RIESGO

Véase el apartado 4.1.6.1, donde se analiza la Directiva Seveso con respecto al almacenamiento de grandes cantidades de materiales peligrosos en tanques; la información resulta igualmente válida para el almacenamiento de grandes cantidades de sustancias peligrosas en cavidades o en cualquier otro tipo de sistemas.

4.1.15.2. CONTROL

Descripción: En las cavidades, el seguimiento y la inspección son aspectos claves para la seguridad y el rendimiento. Se recomienda realizar controles periódicos, entre ellos de la forma de la cavidad, ya que podría modificarse si se utiliza salmuera subsaturada, además de controles de la integridad de la carcasa (perfilaje y/o pruebas) para prevenir el riesgo de fugas a causa de la corrosión en la cementación de la carcasa. Un programa de seguimiento típico consiste en lo siguiente:

- valoración de la estabilidad de la cavidad mediante control sísmico;
- control de la corrosión, incluida la evaluación periódica de la carcasa;
- realización de exploraciones sonares periódicas para controlar posibles cambios de forma, en especial si se utiliza salmuera subsaturada.

El seguimiento requiere además evaluaciones periódicas regulares.

Información operativa: Todas las cavidades salinas lixiviadas se someten a seguimiento regular y a inspecciones periódicas a lo largo de la vida operativa de las instalaciones.

Aplicabilidad: Aplicable a todos los tipos de cavidades salinas lixiviadas.

Cuestiones de seguridad: Los procedimientos de seguridad y los programas de seguimiento deben establecerse y cumplirse estrictamente, por parte de personal cualificado.

Bibliografía de referencia: [150, Geostock, 2002]

4.1.15.3. SEGURIDAD INTRÍNSECA

Descripción: Las cavidades salinas lixiviadas no pueden incendiarse, por su propia naturaleza, debido a la ausencia de oxígeno en las profundidades.

Aplicabilidad: La utilización de cavidades salinas lixiviadas depende en gran medida de las características geológicas del emplazamiento.

Cuestiones de seguridad: Gracias a su naturaleza intrínseca, las cavidades son, con mucho, el sistema más seguro de almacenar grandes cantidades de hidrocarburos.

Energía/residuos/efectos cruzados: Los equipos que más energía consumen son las bombas utilizadas para llenar y vaciar las cavidades. Es posible que haya trazas de hidrocarburo en la interfase salmuera/hidrocarburo. Los hidrocarburos lí-

quidos, en especial al final del proceso de llenado, pueden separarse en una unidad de tratamiento de salmuera. Dado que la mayoría de cavidades salinas lixiviadas se encuentran aisladas, la salmuera deberá recogerse y eliminarse adecuadamente.

Aspectos económicos: Cuando las características geológicas del emplazamiento lo hacen factible, el coste relativo por metro cúbico del almacenamiento en cavidades salinas lixiviadas es bajo en comparación con otros modos de almacenamiento.

Bibliografía de referencia: [150, Geostock, 2002]

4.1.16. MCE (operativas) para el almacenamiento flotante: emisiones de gas

4.1.16.1. VÁLVULA DE ALIVIO DE PRESIÓN Y DE VACÍO (VAPV)

El apartado 4.1.3.11 también es válido para el almacenamiento flotante.

4.1.16.2. COLOR DEL TANQUE

El apartado 4.1.3.6. también es válido para el almacenamiento flotante.

4.1.16.3. COMPENSACIÓN, RECOGIDA Y TRATAMIENTO DE VAPORES

Los apartados 4.1.3.13, 4.1.3.14 y 4.1.3.15 también son válidos para el almacenamiento flotante.

4.1.17. MCE (operativas) para el almacenamiento flotante: emisiones al agua

La limpieza de los tanques es la fuente más importante de emisiones al agua. Normalmente, los residuos generados con la limpieza se canalizan hacia tierra firme, donde se tratan de la misma manera que los residuos de los tanques situados en tierra. Sin embargo, no se ha aportado más información.

4.1.18. MCE para el almacenamiento flotante: incidentes y accidentes (graves)

4.1.18.1. Gestión de la seguridad y del riesgo

Descripción: Véase el apartado 4.1.6.1, donde se analizan las directrices de la Directiva Seveso para el almacenamiento de grandes cantidades de materiales

peligrosos en tanques. Los mismos principios son válidos para el almacenamiento flotante.

Bibliografía de referencia: [113, TETSP, 2001]

4.1.18.2. INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO DEL CASCO

Descripción: Puesto que los buques flotan en el agua, se suele prestar especial atención a la inspección y el mantenimiento del casco.

Bibliografía de referencia: [113, TETSP, 2001]

4.1.18.3. PREVENCIÓN DE SOBRELLENADOS

Descripción: Los sobrelLENADOS pueden evitarse mediante el uso de instrumentos de gran nivel y procedimientos de cierre de las bombas.

Bibliografía de referencia: [113, TETSP, 2001]

4.2. Transporte y manipulación de líquidos y gas licuado

En el apartado 3.2, las emisiones potenciales que generan los sistemas de transporte y manipulación se muestran en la Tabla 3.50 y en la Tabla 3.51 las relativas al transporte por tuberías de superficie cerradas. La Tabla 3.52 y la Tabla 3.53 tratan las relativas al transporte por tuberías de superficie abiertas, y la Tabla 3.54 y la Tabla 3.55, las relativas al transporte por tuberías subterráneas. La Tabla 3.56 y la Tabla 3.57 analizan la descarga mediante mangueras flexibles y la Tabla 3.58 y la Tabla 3.59 los sistemas de manipulación.

En ellas se indican una a una las fuentes de emisiones potenciales más significativas, que son: el llenado de tuberías, la limpieza de los sistemas abiertos y las emisiones fugitivas de cada una de las fuentes.

Las tarjetas de puntuación que figuran en el anexo 8.10 establecen las medidas de control de las emisiones (MCE) para estas fuentes potenciales de emisiones.

Los apartados 4.2.2 a 4.2.7 describen sistemas de MCE para el transporte de líquidos y gases licuados, por ejemplo distintos sistemas de bombeo, mientras que el apartado 4.2.9 describe las MCE propias de los procesos de carga y descarga de dispositivos de transporte. Las MCE relativas a los sistemas de manipulación del producto, por ejemplo válvulas, bridas, bombas o juntas, se describen en el

apartado 4.2.9. El apartado 4.2.1 analiza varias herramientas de gestión válidas para el transporte y la manipulación en general.

4.2.1. Herramientas de gestión para el transporte y la manipulación

4.2.1.1. PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS Y FORMACIÓN

Descripción: Los procedimientos y la formación son aspectos importantes a la hora de minimizar las emisiones generadas durante el llenado de cualquier sistema de transporte; véase el apartado 4.1.6.2.

Bibliografía de referencia: [152, TETSP, 2002]

4.2.1.2. INSPECCIÓN, MANTENIMIENTO Y SEGUIMIENTO

Descripción: Véase el apartado 4.1.2.2.

4.2.1.3. PROGRAMA DE DETECCIÓN Y REPARACIÓN DE FUGAS (DYRF)

Descripción: Los programas DYRF se basan en la comprobación de posibles fugas en los componentes y en la reparación de éstos en caso de anomalía. La comprobación de fugas se realiza de acuerdo con el método de referencia de la EPA estadounidense, EPA 21, a una frecuencia de muestreo predeterminada. Los componentes inaccesibles no se someten a seguimiento en la práctica (por ejemplo por motivos de aislamiento o altura).

Información operativa: Los programas DYRF son una herramienta muy utilizada en situaciones con gran potencial de generar emisiones, por ejemplo al manipular gas y líquidos ligeros, al utilizar sistemas presurizados y en entornos de temperaturas elevadas.

Bibliografía de referencia: [158, EIPPCB, 2002]

4.2.1.4. GESTIÓN DE LA SEGURIDAD Y DEL RIESGO

Véase el apartado 4.1.6.1, donde se analizan las directrices de la Directiva Seveso para el almacenamiento de grandes cantidades de materiales peligrosos en tanques. Los mismos principios son válidos para el transporte y la manipulación de sustancias peligrosas.

4.2.2. MCE (operativas) para tuberías de superficie cerradas: emisiones de gas

4.2.2.1. REDUCCIÓN DEL NÚMERO DE BRIDAS Y CONECTORES

Descripción: Las bridas empernadas y las juntas con empaquetadura se utilizan cuando los conductos, bombas o válvulas podrían requerir aislamiento o ser extraídos.

Una de las causas principales de las fugas es el esfuerzo térmico, que provoca deformaciones de la junta entre las caras de la brida. Por ello los sistemas de canalización en uso térmico cíclico tienen mayor predisposición a sufrir fugas frecuentes en las bridas.

Las fugas en las bridas también pueden estar provocadas por defectos en la alineación y podrían reducirse aumentando la vigilancia de la técnica de empernado. El régimen de funcionamiento de la brida y el tipo de material de junta deben ser los adecuados para su cometido; por ejemplo, las juntas con estructura en espiral sirven para reducir el riesgo de fallo en los sistemas de gas y de las válvulas primarias de cierre de líquido.

Reducir al mínimo el número de bridas sustituyéndolas por conexiones soldadas es una posibilidad, siempre que sea compatible con los requisitos operativos y de mantenimiento de la planta.

Los conectores roscados pueden presentar fugas si las roscas se dañan o se corroen o si se aprietan a un par o con una lubricación insuficiente. Las normas sobre tuberías deberían establecer un tamaño mínimo para los ramales imprescindible para poder unirlos a la tubería principal que proporcione protección frente a los desperfectos mecánicos, ya que es fácil dañar un conducto muy pequeño unido a una tubería muy grande.

Beneficios ambientales obtenidos: Cada brida o conjunto de bridas debería cumplir las exigencias del código de diseño como garantía para poder soportar la máxima presión a la que se utilizará la tubería. Cumplir estos requisitos también garantiza que la brida será capaz de mantener sus propiedades fisicoquímicas a cualquier temperatura a la que se prevea que podrá llegar a someterse cuando esté en servicio.

Información operativa: Las bridas empernadas y con empaquetadura son necesarias en caso de que las tuberías, bombas o válvulas requieran aislamiento o poder ser extraídas. Por ello no es posible eliminar todas las bridas y conexiones del sistema de transporte y manipulación.

Aplicabilidad: Fácil de aplicar, aunque dentro de los límites que marcan los procedimientos operativos de mantenimiento de los equipos o la flexibilidad del sistema de transporte.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: Reducir al mínimo el número de bridas sustituyéndolas por conexiones soldadas compatibles con los requisitos operativos y de mantenimiento de la planta es una opción económica en el caso de los sistemas nuevos. La remodelación tiene un coste medio-alto.

Bibliografía de referencia: [152, TETSP, 2002]

4.2.2.2. ELECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS JUNTAS

Descripción: La adecuada elección de la junta y el mantenimiento periódico (por ejemplo, el apriete controlado de las bridas) son aspectos muy importantes para prevenir las emisiones. El control y la sustitución regular de las bridas también son necesarios, en especial si están expuestas a fluctuaciones de la temperatura o a vibraciones (que pueden provocar que la junta pierda su resistencia).

En primer lugar, la correcta selección debe basarse en los siguientes parámetros:

- compatibilidad con el medio operativo (fluido del proceso);
- temperatura y presión de funcionamiento;
- variaciones de las condiciones operativas (por ejemplo, durante los ciclos);
- tipo de junta necesaria.

Las juntas pueden dividirse en tres categorías principales:

- blandas (no metálicas);
- semimetálicas;
- metálicas.

Las características mecánicas y la capacidad de sellado de estas categorías varían considerablemente dependiendo del tipo de junta o empaquetadura elegido y de los materiales con los que está fabricada. Evidentemente, las propiedades mecánicas y de sellado son factores importantes a la hora de analizar el diseño de la junta, pero la decisión suele basarse en especial en:

- la temperatura y la presión del medio que debe contener;
- la naturaleza química del medio;
- la resistencia mecánica que debe soportar la junta;
- las características de sellado de la junta.

Juntas blandas (no metálicas) A menudo fabricadas con láminas de materiales compuestos, adecuadas para un gran número de usos generales y para sustancias químicas corrosivas. Destacan los siguientes tipos: láminas reforzadas con fibra, grafito exfoliado, láminas de politetrafluoretileno (PTFE) de varios tipos (también los resistentes a los escapes basados en la orientación del PTFE) y láminas de materiales resistentes a altas temperaturas con base de mica.

Juntas semimetálicas Juntas compuestas elaboradas con materiales tanto metálicos como no metálicos, siendo el metal el que proporciona normalmente la fuerza y la resistencia necesarias. Adecuadas para entornos de alta temperatura y presión por igual. Entre los principales tipos destacan: las de núcleo de metal dentado recubierta, las recubiertas con una envoltura metálica, las recubiertas de metal corrugado, de ojal metálico, de camisa metálica, juntas blandas con refuerzo de metal (entre ellas de grafito flexible y de fibras reforzadas con espiral de alambre), metálicas corrugadas y con estructura en espiral.

Juntas metálicas Pueden fabricarse a partir de un único metal o de una combinación de materiales metálicos, en distintas formas y tamaños. Son adecuadas para entornos de elevada presión o temperatura. Algunos ejemplos son las juntas de anillo de lente, de anillo soldado y las de anillo.

Para que el rendimiento de una junta sea el adecuado, ésta debe ser resistente al deterioro causado por los fluidos que contiene, además de compatible química y físicamente. En el caso de las juntas metálicas, debe prestarse atención a la corrosión electromagnética (o «galvánica»), que puede minimizarse seleccionando juntas y bridas de metales próximos en la serie electroquímica.

Las juntas cortadas a partir de láminas muestran un comportamiento óptimo cuando se utiliza el material más fino posible que permita la disposición de la brida, aunque lo suficientemente grueso para compensar la irregularidad de las superficies de la brida, su paralelismo, acabado superficial y rigidez, etc. Cuanto más fina sea la junta, mayor será la resistencia del perno que la junta será capaz de soportar, menor la pérdida de resistencia del perno a causa de la relajación y, por tanto, mayor la vida útil de servicio de la junta. También será menor el área de la junta que quedará expuesta a la presión interna y a la agresividad del medio.

Una vez ensamblada, la junta debe ser capaz de resistir pequeñas imperfecciones de alineación y en el reborde, por ejemplo:

- rebordes no paralelos;
- deformaciones por acanaladuras/estrías;
- ondulación superficial;
- ranurado superficial;
- otras imperfecciones superficiales.

Una vez ensamblada, una junta de brida queda sometida a presión compresora a ambos lados de la brida, normalmente por medio de pernos sometidos a tensión. Para garantizar que pueda realizarse el mantenimiento de la junta a lo largo de la vida útil del conjunto, la superficie de la junta debe conservar una presión lo suficientemente elevada para evitar las fugas. En condiciones operativas, esta presión se aliviará a causa del impulso final hidrostático, la fuerza generada por la presión interna que al actuar provoca la separación de las caras. La propia junta también está sometida a carga lateral como consecuencia de la presión interna del fluido que fuerza la extrusión a través del espacio intermedio de la brida. Para mantener la integridad de la junta, la presión compresora efectiva que actúa sobre ella (es decir, la carga del conjunto menos el impulso final hidrostático) debe ser superior a la presión interna por un determinado múltiplo que dependerá del tipo de junta, del proceso de fabricación y del nivel de hermeticidad necesario.

En el caso de las juntas con estructura en espiral, la planicidad y el paralelismo de las bridas son factores importantes para el buen rendimiento de la junta.

Por lo que respecta a las juntas blandas, debe existir además una fricción adecuada entre la junta y las superficies de las caras para contribuir a evitar la extrusión (escapes) en la junta. Para permitir la relajación de la presión compresora de la junta, normalmente inevitable, se recomienda un factor de al menos dos entre la presión compresora del conjunto y la necesaria para mantener el sellado.

También es esencial para el buen rendimiento de la junta que el procedimiento de ensamblado sea el adecuado; en la cita bibliográfica [149, ESA, 2004] se da información detallada al respecto.

Las juntas normalmente no se reutilizan porque podrían haber quedado deformadas por las condiciones operativas y, por tanto, no aportar el nivel de sellado necesario. En cualquier caso, el coste de las juntas nuevas es muy bajo.

Algunas de las juntas de alta integridad son las que tienen estructura en espiral, las juntas Kammprofile o las de anillo.

El grafito exfoliado y los materiales de sellado de PTFE procesado han demostrado ser muy eficaces con numerosos tipos distintos de juntas y aportan una estanqueidad muy superior a la de las juntas originales a base de amianto.

Bibliografía de referencia: Guía para la utilización segura de elementos de sellado - Juntas y bridas (ESA, número de publicación: 009/98), disponible en varios idiomas. [149, ESA, 2004]

4.2.2.3. BRIDAS MEJORADAS

Descripción: En las instalaciones que tienen un gran potencial de contaminación ambiental es práctica común utilizar bridas de ranura y lengüeta (machihembrado) o dotadas de saliente y entrante o bien otras especiales como los sellos metálicos o estriados.

Bibliografía de referencia: [18, UBA, 1999]

4.2.2.4. RECOGIDA DEL VAPOR

Descripción: Los vapores que se desplazan durante el llenado mediante canalizaciones pueden capturarse y «compensarse» devolviéndolos al tanque del que procede el producto o bien tratarse en un sistema de tratamiento de gases. Para más detalles véase el apartado 4.2.8 MCE para la carga y descarga de dispositivos de transporte.

Bibliografía de referencia: [152, TETSP, 2002]

4.2.3. MCE para tuberías de superficie cerradas: incidentes y accidentes (graves)

4.2.3.1. CORROSIÓN INTERNA Y EROSIÓN

La corrosión interna puede estar causada por la naturaleza corrosiva del producto transportado. La primera medida para reducir la corrosión sería, por tanto, elegir adecuadamente el material estructural.

La erosión viene causada por el desgaste mecánico en el interior de la canalización a causa de caudales excesivamente elevados, arrastre de gas por parte del líquido o contaminación de éste con partículas sólidas. Puede controlarse mediante una combinación de gestión del caudal, inhibidores de corrosión, revestimiento interno y rascados frecuentes.

Las desviaciones respecto a las condiciones del diseño inicial pueden afectar a la corrosión y/o la velocidad a la que se produce y normalmente se examinan a través de un procedimiento de gestión, por ejemplo una «gestión del procedimiento de cambio» previa a la realización efectiva del cambio.

Puede aplicarse una capa de revestimiento interno, de acuerdo con estrictas especificaciones de calidad, para lograr un nivel de protección elevado. Si las tuberías deben unirse mediante soldadura de modo que el metal quede expuesto, el área de soldadura deberá recubrirse también para que el nivel de protección sea igualmente elevado. De no ser posible, debería considerarse la utilización de inhibidores de corrosión.

Si los conductos revestidos internamente deben rascarse, será necesario elegir cuidadosamente el rascador para evitar que el revestimiento sufra daños.

Bibliografía de referencia: [152, TETSP, 2002]

4.2.3.2. CORROSIÓN EXTERNA: TUBERÍAS DE SUPERFICIE

Descripción: Para evitar que las canalizaciones se vean afectadas por la corrosión atmosférica se suele pintar el sistema con una, dos o tres capas de recubrimiento. El método de recubrimiento debe tener en cuenta las peculiaridades del emplazamiento (cercanía al mar, etc.). Las tuberías de plástico o acero inoxidable normalmente no se revisten.

Bibliografía de referencia: [152, TETSP, 2002]

4.2.4. MCE (operativas) para tuberías de superficie abiertas: emisiones de gas

4.2.4.1. SUSTITUCIÓN POR SISTEMAS DE CANALIZACIÓN CERRADOS

Descripción: Véase el apartado 3.2.1.1. para obtener una descripción general de los sistemas de canalización cerrados. En los apartados 4.2.2. y 4.2.3 se describen las medidas de reducción de las emisiones de los sistemas cerrados.

Información operativa: Los sistemas de canalización cerrados normalmente se emplean para el transporte de líquidos volátiles y gases licuados, ya que podrían generar emisiones gaseosas. Los sistemas abiertos sólo son adecuados para productos inocuos de baja volatilidad.

Aplicabilidad: Técnica válida para cualquier líquido y gas licuado.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: Los sistemas de canalización cerrados tienen un coste bajo en las instalaciones nuevas, pero son una opción de coste medio a elevado en caso de remodelación, dependiendo del diseño actual del sistema.

Bibliografía de referencia: [152, TETSP, 2002]

4.2.4.2. LIMITACIÓN DE LA LONGITUD

Descripción: Acortar la longitud de las canalizaciones superficiales abiertas, por ejemplo canalones, reduce las posibles emisiones.

Información operativa: La longitud debería ser lo más corta posible.

Aplicabilidad: Aplicable a cualquier sistema nuevo; en caso de remodelación depende de las circunstancias de la planta.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: En las instalaciones nuevas es una opción de bajo coste; si se trata de una remodelación, los costes dependerán de cómo esté diseñado el sistema.

Bibliografía de referencia: [152, TETSP, 2002]

4.2.5. MCE para tuberías de superficie abiertas: incidentes y accidentes (graves)

Las mismas MCE correspondientes a los sistemas de transporte por tuberías de superficie cerradas; véase el apartado 4.2.3.

4.2.6. MCE (operativas) para tuberías subterráneas: emisiones de gas

Las mismas MCE correspondientes a los sistemas de transporte por tuberías de superficie cerradas; véase el apartado 4.2.2.

4.2.7. MCE para tuberías subterráneas: incidentes y accidentes (graves)

Las mismas MCE correspondientes a los sistemas de transporte tuberías de superficie cerradas (véase el apartado 4.2.3), a excepción de la corrosión externa, que se describe a continuación.

4.2.7.1. CORROSIÓN EXTERNA: TUBERÍAS SUBTERRÁNEAS

Una de las técnicas utilizadas habitualmente consiste en proteger los sistemas de tuberías subterráneas mediante una combinación de revestimiento externo y protección catódica.

Revestimiento externo

Los revestimientos externos para tuberías situadas bajo tierra deberían poseer las propiedades mecánicas y eléctricas necesarias para proporcionar una gran resistencia a los suelos locales corrosivos y tener un gran poder de adherencia. Son preferibles los revestimientos externos aplicados directamente en fábrica. Las capas bituminosas o de alquitrán de hulla se utilizan comúnmente en tuberías con fibra reforzada para mejorar el agarre. El polietileno, el polvo epoxi y otras resinas también son una opción.

Toda tubería subterránea debe disponer de revestimientos aplicados *in situ* en los puntos de unión mediante soldadura o de conexión con las canalizaciones principales. El recubrimiento de estas zonas expuestas *in situ* podría realizarse bajo supervisión para garantizar la adecuada adherencia y la compatibilidad con el revestimiento de la tubería principal y el sistema de protección catódica. Los revestimientos externos normalmente se diseñan y aplican de acuerdo con normas de aceptación internacional como, por ejemplo, NACE RP-02-75, RP-01-69-92 y ASME B31.1, B31.3, B31.4, B31.8.

Protección catódica

Se trata de una técnica que permite proteger las tuberías subterráneas. Sólo se utiliza de forma habitual en tuberías de gran diámetro que no podrían protegerse de otra manera.

Si alguna anomalía en el recubrimiento de una canalización pasa desapercibida podría originarse un grave problema, ya que cualquier corriente corrosiva presente en el medio subterráneo se concentrará en ese punto. Este problema potencial se ataja con la aplicación de un sistema de protección catódica. El diseño de los sistemas de protección catódica es una disciplina especializada; para que los resultados sean óptimos convendría consultar a un ingeniero especialista en corrosión.

Bibliografía de referencia: [113, TETSP, 2001]

4.2.8. MCE para la carga y descarga de dispositivos de transporte

Descripción: Los vapores desplazados durante los procesos de carga de buques, camiones y vagones cisterna pueden ventilarse libremente a la atmósfera o, como alternativa en el caso de productos cuyos vapores tengan efectos ambientalmente negativos, pueden «compensarse» devolviéndolos al tanque del que procede el producto o bien tratarse en un sistema de tratamiento de gases. La compensación de vapor constituye además una MCE para el llenado de tanques; véanse los apartados 4.1.3.13 y 4.1.3.15. El dispositivo de transporte no genera emisiones durante la descarga, ya que el producto es sustituido por aire o vapor (si se ha instalado un sistema de compensación del vapor).

4.2.8.1. COMPENSACIÓN DE VAPOR DURANTE LA CARGA Y DESCARGA DE LOS DISPOSITIVOS DE TRANSPORTE

Descripción: La compensación de vapor es una técnica válida tanto para la carga como para la descarga de dispositivos de transporte. Durante la carga, los vapores desplazados desde el dispositivo de transporte se recogen a través de una tubería instalada en el mismo dispositivo de transporte (o a través de brazos de carga especialmente diseñados) y se conducen a través de una tubería compensadora de regreso al tanque del que se bombean los productos. Durante la descarga, los vapores se desplazan en el sentido contrario, desde el tanque, a causa del aumento del nivel del mismo, al dispositivo de transporte del que se descarga el producto. Para poder compensar los vapores durante la descarga, el dispositivo de transporte debe disponer de una tubería especial para el vapor instalada «a bordo» que conecte la canalización de vapor del tanque con el tanque del dispositivo de transporte (o el «compartimiento» de un camión cisterna). El sistema de compensación de vapor requiere el uso de tanques no presurizados de techo fijo.

El principio de la compensación requiere que las canalizaciones sean estancas al vapor entre el tanque y el dispositivo de transporte. Se necesita un sistema de conexión para el vapor en el punto de carga que conecte las instalaciones con el dispositivo de transporte. El sistema debe estar diseñado de tal modo que con un caudal máximo de vapor (es decir, a niveles de llenado de líquido máximos más cualquier respiración del tanque que se produzca durante el llenado) el aumento de la presión del tanque que se esté llenando (ya sea el tanque de almacenamiento o el dispositivo de transporte) no genere emisiones en las válvulas de alivio de presión del tanque. Y, al contrario, ambos tanques deberían estar diseñados de modo que el vacío inducido en el tanque del que se bombea el producto no provoque la apertura de las válvulas de alivio de presión del tanque, ya que causaría el arrastre del aire al tanque e impediría la compensación efectiva de los vapores. Entre las consideraciones de diseño destacan la reducción al mínimo del potencial de bloqueo por líquido del sistema de vapor a consecuencia de la condensación en puntos bajos del sistema de conducción del vapor.

Si no se utilizan dispositivos de transporte especialmente adaptados (en especial buques y vagones de carga con dispositivos de transporte utilizados para el comercio internacional), no será posible garantizar que dispongan de canalizaciones de recogida de vapores «a bordo». Además, aunque cuenten con canalizaciones instaladas, pueden darse problemas de compatibilidad a causa del tamaño y la ubicación de los conectores del dispositivo de transporte respecto a los de las instalaciones de carga. Dado que el mantenimiento de las tuberías, válvulas y conectores instalados «a bordo» del dispositivo de transporte no entra normalmente dentro del programa de control a cargo del titular de las instalaciones de almacenamiento, es posible que no sean tan efectivos como los instalados en las propias instalaciones.

El sistema de compensación de vapor debe estar protegido frente a los riesgos derivados de la manipulación de mezclas potencialmente explosivas de aire/hidrocarburo, mezclas de compuestos incompatibles o diferencias excesivas de presión entre el tanque y el dispositivo de transporte.

Si son varios los tanques conectados a un único sistema común de recogida de vapores, éste deberá estar cuidadosamente diseñado para garantizar que las conexiones líquido/vapor siempre se realicen con el mismo tanque, además de para minimizar el riesgo de que varios tanques se ven afectados por un mismo accidente.

Beneficios ambientales obtenidos: El potencial de reducción de las emisiones se ve limitado por las fugas en el interior de los sistemas de conexión utilizados con el vapor, tanto «a bordo» del dispositivo de transporte como en las instalaciones. Pueden lograrse eficacias de más del 95 %. La eficacia desciende, sin embargo, si se utilizan brazos de recogida de vapores de carga superior, nominalmente sellados respecto a una escotilla abierta, ya que aumenta el potencial de fuga alrededor de la junta de la escotilla y a causa de las emisiones generadas por la escotilla abierta antes y después de la carga.

Información operativa: Se trata de una técnica razonablemente sencilla de utilizar, aunque requiere un aumento de las inspecciones de los supresores de explosiones y VAPV, además de pruebas para comprobar posibles fugas de vapor. Es posible que la condensación se acumule en puntos bajos del sistema de conducción del vapor y en la estructura de los supresores, lo que representaría un problema de extracción potencial.

Aplicabilidad: La compensación de vapores de dispositivos de transporte y tanques no presurizados sólo es aplicable a los tanques de techo fijo (TTF). Los dispositivos de transporte requieren la instalación de sistemas de recogida de vapores «a bordo» excepto si el proceso de carga superior ha sido modificado. Son pocos los buques cisterna de uso general que están dotados de tuberías de recogida de vapor.

El grado de presión tanto de los tanques de almacenamiento como de los del dispositivo de transporte debe ser el adecuado para que el sistema de compensación funcione y no provoque emisiones a través de las VAPV a consecuencia de un exceso de presión o de vacío. Cuando la compensación de vapor se realiza durante la carga de un dispositivo de transporte debe tenerse en cuenta la posible contaminación cruzada del líquido almacenado con el vapor generado por la carga previamente transportada y desplazado desde el dispositivo de transporte. Cuando se realiza la compensación de vapor durante la descarga, el propietario del vehículo de transporte debe tener en cuenta cuáles serán los efectos sobre la siguiente carga del dispositivo de transporte. Puede que ello obligue a purgar el dispositivo de transporte (de forma posiblemente descontrolada; por ejemplo si se trata de la purga de tanques de cargueros en alta mar) antes de la siguiente carga.

Cuestiones de seguridad: La compensación de vapor es una técnica con un potencial de alto riesgo, en especial de incendios y explosiones. Existe potencial de bloqueo a causa de las partículas de óxido, por ejemplo, o por los daños provocados por la falta de mantenimiento de los supresores de explosiones. El diseño es en este caso un aspecto crucial; así, tanto los tanques de almacenamiento como los del dispositivo de transporte deben estar equipados con VAPV. Se han producido roturas graves de dispositivos de transporte y tanques como consecuencia de incidentes debidos a la presión cuando las canalizaciones que compensan los vapores se han bloqueado o bien no se han abierto correctamente. También ha habido incendios y explosiones a causa de la utilización incorrecta de los sistemas compensadores de vapor o de la falta de mantenimiento adecuado de los sistemas de supresión de las explosiones.

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: La instalación de un sistema de compensación de vapor es una opción de coste medio a elevado. Los costes más significativos dependen de las instalaciones, en concreto del diseño de los tanques existentes y de la distancia entre ellos y las instalaciones de carga. Los costes no se limitan, no obstante, a las instalaciones; también se requieren normalmente sistemas de recogida de vapores en los dispositivos de transporte. Su coste de instalación, en especial en barcos que no disponen de sistemas de gas inerte, es elevado.

4.2.8.2. TRATAMIENTO DEL VAPOR DURANTE LA DESCARGA DE LOS DISPOSITIVOS DE TRANSPORTE

Descripción: La compensación de vapor requiere la recogida de los vapores durante el proceso de carga del dispositivo de transporte y su conducción a un sistema de tratamiento de gases por medio de canalizaciones.

Los sistemas de tratamiento de gases utilizados al cargar los dispositivos de transporte son los mismos que se emplean para el llenado de tanques y se describen en el apartado 4.1.3.15.

Los aspectos que deben tenerse en cuenta al recoger los vapores de un dispositivo de transporte durante el proceso de carga son los mismos que se describen en el apartado 4.2.8.1 para la compensación de vapor.

Beneficios ambientales obtenidos: El potencial de reducción de las emisiones está limitado por:

- la eficacia del sistema de recogida de vapores y
- la eficacia del sistema de tratamiento de gases.

Pueden producirse fugas en el interior de los sistemas de conexión de gases, tanto «a bordo» del dispositivo de transporte como en las instalaciones. La eficacia en la captura del vapor descende si se utilizan brazos de recogida de vapor de carga superior, ya que aumenta el potencial de fugas a causa de las posibles fugas generadas en el perímetro de la junta de la escotilla y a causa de las emisiones procedentes de la escotilla en el momento de abrirla, antes y después de la carga.

La eficacia de los sistemas de tratamiento de gases depende de la tecnología utilizada y del gas producido y sometido a tratamiento. Aunque la eficacia del incremento de la reducción de las emisiones generales puede aumentar utilizando dos sistemas sucesivos, la reducción acumulada de las emisiones puede ser pequeña si se compara con la utilización de un proceso de una única fase. Por ejemplo, las unidades de recuperación del vapor (URV) de fase única utilizadas con la gasolina pueden alcanzar una eficacia media del 99 %. Incorporar al proceso una segunda fase serviría para eliminar un 0,9 % adicional. Así pues, los costes de capital y de explotación derivados de la habilitación de una segunda fase proporcionan una efectividad en la reducción de las emisiones por tonelada muy baja. Además, las unidades utilizadas en la segunda fase generan emisiones atmosféricas adicionales, por ejemplo CO₂ indirecto a causa del consumo de electricidad o bien NO_x si se utiliza un oxidante externo, que deberán revisarse en relación con el nivel de reducción de las emisiones de COV alcanzado.

Información operativa: La operabilidad depende de la técnica de tratamiento utilizada (véanse los apartados 4.1.3.3.15.1 a 4.1.3.15.5). En general se trata de procesos que no necesitan intervención humana y que se controlan automáticamente, aunque tienen unos requisitos e mantenimiento elevados. Para su utilización y mantenimiento se requiere personal especialmente formado.

Aplicabilidad: Las emisiones generadas durante la carga y descarga son discontinuas y su importancia depende de la sustancia y del volumen emitido. En

los Países Bajos, por ejemplo, las emisiones de metanol son significativas y, por tanto, deben reducirse, cuando superan los 500 kg/año. Con todo, no se facilitó información adicional al GTT que permita decidir cuándo unas emisiones pasan a ser significativas.

La compensación y el tratamiento de vapores desplazados durante los procesos de carga se utilizan habitualmente; existen técnicas para una gran variedad de productos, aunque podrían ser sensibles a las fluctuaciones del caudal o de la concentración o bien a ciertos contaminantes (por ejemplo el envenenamiento por H₂S de los lechos de carbono). El vapor de agua provoca problemas en los sistemas que funcionan a bajas temperaturas.

Cuestiones de seguridad: Cada técnica debe valorarse de acuerdo con aspectos de seguridad específicos, por ejemplo el potencial de reacciones exotérmicas incontroladas en el interior de sistemas de adsorción.

Energía/residuos/efectos cruzados: La mayoría de sistemas de tratamiento presentan un elevado consumo energético, con las correspondientes emisiones de CO₂. Muchos sistemas presentan también potencial de generación de residuos (carbono agotado utilizado en los sistemas de adsorción, flujos de aguas residuales contaminadas, etc.). La oxidación térmica da como resultado productos de combustión. Los sistemas de refrigeración podrían utilizar sustancias destructoras de la capa de ozono.

Aspectos económicos: La recuperación del vapor es una opción de elevado coste, tanto de capital como de explotación. En un informe reciente elaborado para la Comisión Europea, DG Medio Ambiente (AEAT, Rudd y Hill, *Measures to Reduce Emissions of VOCs during Loading and Unloading of Ships in the EU*, de agosto de 2001) se señalaba que los «costes por tonelada reducida respecto a la carga en buques son más elevados que las medidas más caras que los Estados miembros podrían implantar para cumplir con los valores máximos de emisión nacionales...».

Bibliografía de referencia: [176, EIPPCB Ineke Jansen, 2004, 180, Países Bajos, 2004] [184, TETSP, 2004]

4.2.9. MCE (operativas) para sistemas de manipulación de productos: emisiones de gas

Las principales fuentes de emisiones fugitivas en un sistema de transporte y manipulación son los vástagos de las válvulas, las bridas, las conexiones y extremos abiertos, los puntos de muestreo y las juntas de las bombas.

A continuación se describen las MCE técnicas correspondientes a cada una de estas fuentes de emisión potenciales.

4.2.9.1. EQUIPO DE ALTA CALIDAD

Descripción: En muchos casos, el empleo de equipos de mejor calidad puede dar lugar a una reducción de las emisiones. En los sistemas nuevos no suele implicar un aumento excesivo de los costes de inversión. Sin embargo, en los sistemas ya existentes, la sustitución del equipo existente por otro de mejor calidad a menudo no está económicamente justificada.

Por ejemplo, existen válvulas compactas de buena calidad que generan muy pocas emisiones fugitivas. Para lograr ese nivel tan bajo de emisiones se utilizan sistemas de compactación mejorados y las válvulas se fabrican de acuerdo con tolerancias muy estrictas y mediante un proceso de ensamblado cuidadoso.

Información operativa: El empleo de equipos de mejor calidad puede reducir los requisitos de parada técnica y mantenimiento.

Aplicabilidad: Elevada.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: Técnica de bajo coste en sistemas nuevos. Los costes son elevados si el equipo debe remodelarse.

Bibliografía de referencia: [152, TETSP, 2002]

4.2.9.2. ELIMINACIÓN DE TUBERÍAS CON EXTREMO ABIERTO Y VÁLVULAS

Descripción: Las tuberías con extremo abierto suelen estar situadas en las bocas de salida de drenaje o en los puntos de muestreo. Normalmente cuentan con una válvula que suele estar cerrada.

Todos los desagües que no se utilizan regularmente disponen normalmente de una tapa, brida ciega o tapón. Si necesitan abrirse habitualmente están dotados de una segunda válvula.

Información operativa: Se necesita más tiempo para la sustitución de tapas, bridas ciegas, etc.

Aplicabilidad: Elevada.

Cuestiones de seguridad: Reduce el riesgo de derrames accidentales.

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: Es una técnica de bajo coste.

Bibliografía de referencia: [152, TETSP, 2002]

4.2.9.3. VÁLVULAS DE FUELLE

Descripción: Las válvulas de fuelle no generan emisiones en los vástagos porque este tipo de válvulas incorporan un fuelle metálico que crea una barrera entre el disco de la válvula y la estructura.

Sin embargo, la reducción de las emisiones resultante, comparada con el empleo de válvulas de vástago ascendente de buena calidad, no es suficiente para justificar los costes adicionales muy elevados en materia ambiental. Estas válvulas se utilizan por motivos de salud y seguridad en entornos de alta toxicidad (para reducir el riesgo de exposición de los operadores a los vapores tóxicos) o alta corrosividad (para evitar riesgos relativos a la corrosión de los componentes de la válvula, que podría provocar una falta de contención).

Información operativa: El fuelle es el punto débil de este tipo de sistemas, y la vida útil de servicio puede ser muy variable. En consecuencia, estas válvulas normalmente se complementan con una prensaestopas convencional y podrían estar dotados de un detector de fugas para posibles fallos.

Aplicabilidad: Las válvulas de fuelle se utilizan con productos tóxicos o corrosivos, ya que su coste adicional no justifica que se empleen con productos menos peligrosos.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: Las válvulas de fuelle son elementos de coste muy elevado en comparación con las válvulas compactas.

Bibliografía de referencia: [152, TETSP, 2002]

4.2.9.4. VÁLVULAS DE DIAFRAGMA

Descripción: En este tipo de válvulas se utiliza un diafragma para aislar las partes móviles de la válvula del líquido que entra en contacto con la estructura

principal. El diafragma también puede emplearse para controlar el caudal. Con todo, se generarán emisiones si el diafragma falla.

Información operativa: Las ventajas de este tipo de válvula son la ausencia de problemas con el asiento de la válvula y que no se requiere un sellado prensaestopas. El material del diafragma normalmente es el factor que limita la máxima presión y temperatura de servicio. Cuando falla el diafragma se pierde rápidamente la integridad.

Aplicabilidad: Al no haber partes móviles en el líquido, las válvulas se utilizan a menudo con líquidos agresivos en los que, por ejemplo, está presente algún material sólido. Además, la propia estructura también puede revestirse para hacer frente a la corrosión.

Cuestiones de seguridad: El potencial de rotura del diafragma obliga a tener en cuenta las posibles consecuencias de un fallo, en especial si se trata de productos tóxicos o inflamables.

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: En instalaciones nuevas es un elemento de bajo coste; en caso de remodelación los costes dependen del diseño de las instalaciones.

Bibliografía de referencia: [152, TETSP, 2002]

4.2.9.5. VÁLVULAS DE CONTROL ROTATIVAS

Descripción: Las válvulas de control se abren y cierran con frecuencia y tienen, por tanto, mayor propensión a las fugas que las de cierre. El uso de válvulas de control rotativas en vez de válvulas de vástago ascendente reduce las emisiones atmosféricas.

Información operativa: Similar a la de las válvulas de control de vástago ascendente.

Aplicabilidad: Las válvulas de control rotativas posiblemente no presenten las características de caudal necesarias que proporcionan las válvulas de control de vástago ascendente en determinadas aplicaciones de control.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: En instalaciones nuevas es un elemento de bajo coste; en caso de remodelación los costes dependen del diseño de las instalaciones.

Bibliografía de referencia: [152, TETSP, 2002]

4.2.9.6. BOMBAS DE VELOCIDAD VARIABLE

Descripción: Las válvulas de control se abren y cierran con frecuencia y tienen, por tanto, mayor propensión a las fugas que las de cierre. El uso de bombas de velocidad variable en vez de válvulas de control de vástago ascendente reduce las emisiones atmosféricas.

Información operativa: La operabilidad depende del diseño del sistema, aunque normalmente la complejidad del control es parecida a la de una válvula automática.

Aplicabilidad: Depende del diseño general del sistema.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: El empleo de bombas de velocidad variable es una opción de bajo coste en los sistemas nuevos. Si el sistema se remodela fuera del programa de sustitución habitual los costes son elevados.

Bibliografía de referencia: [152, TETSP, 2002]

4.2.9.7. VÁLVULAS DE DOBLE PARED

Descripción: Existen válvulas de doble pared que son válvulas estándar homologadas con contención secundaria exterior que cubre herméticamente todas las piezas críticas que representan un punto potencial de fugas o emisiones. Estas válvulas son un elemento necesario en todos los sistemas de doble pared sometidos a control y pueden acoplarse tanto a tuberías como a tanques con conexiones soldadas o realizadas con bridas.

Beneficios ambientales obtenidos: Técnicamente permite lograr un nivel de emisiones cero.

Información operativa: La presión máxima permitida es de 40 bar y la temperatura mínima permitida de 450 °C.

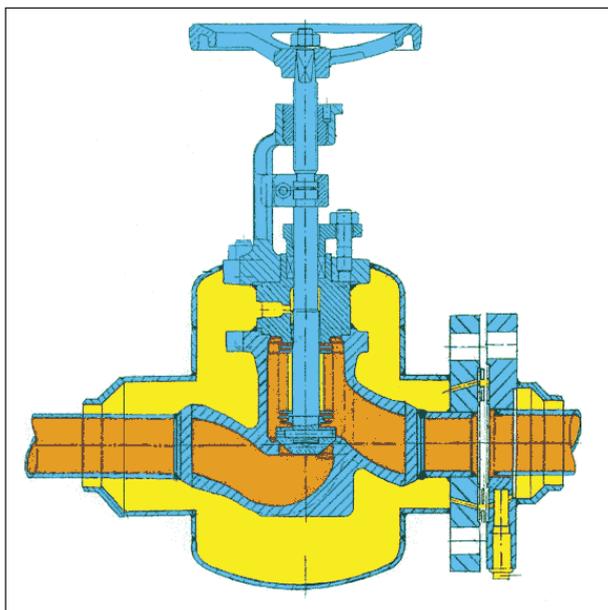


Figura 4.16: Esquema de una válvula de doble pared patentada [160, Sidoma Systeme GmbH, 2003]

Aplicabilidad: Técnica ampliamente utilizable, sobre todo con gasolina, benceno y líquidos fugitivos.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Aspectos económicos: Véanse las consideraciones económicas de la combinación de un tanque de doble pared con descarga inferior y una válvula de doble pared en el 4.1.6.1.15.

Bibliografía de referencia: [160, Sidoma Systeme GmbH, 2003]

4.2.9.8. VÁLVULAS DE ALIVIO DE PRESIÓN Y LA TEMPERATURA

Descripción: Las válvulas de alivio se instalan en los sistemas de transporte para evitar la acumulación de presión a causa de la absorción del calor solar o en situaciones de emergencia.

Los orificios de salida de las válvulas de alivio pueden conectarse por medio de tubos a puntos seguros del sistema de transporte o almacenamiento situados al otro lado del equipo bloqueado.

Las válvulas de alivio que descargan a la atmósfera deberían hacerlo a una distancia que sea segura para el personal y para la prevención de accidentes.

Las válvulas de alivio térmico están diseñadas para casos de incendio creíbles así como para expansiones térmicas provocadas por efectos ambientales.

Se utilizan sistemas de alivio parecidos para líquidos que podrían ser susceptibles a la degradación y que no pueden bloquearse entre dos válvulas cerradas.

En situaciones de emergencia, por ejemplo si se cierra rápidamente la válvula de una tubería, es posible que se genere un aumento de la presión que supere la presión de trabajo máxima permitida del conducto. En estos casos, el diseño de los sistemas de alivio de presión permite proteger la integridad de la tubería. Los aumentos de presión en las tuberías pueden evitarse o minimizarse con el empleo de sistemas de control de la velocidad de cierre de las válvulas, normalmente programando una válvula de control o instalando una caja de engranajes en una válvula manual. El potencial de incremento de la presión de un conducto aumenta proporcionalmente con su longitud, por lo que si se cree que podría tener lugar debería crearse un modelo matemático que determine las velocidades de cierre de las válvulas.

Información operativa: Las válvulas de cierre requieren inspección y mantenimiento regulares.

Aplicabilidad: Elevada.

Cuestiones de seguridad: Reducen significativamente el riesgo de fuga a causa de excesos de presión.

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: De coste bajo-medio.

Bibliografía de referencia: [152, TETSP, 2002]

4.2.9.9. BOMBAS DE NO SELLADO

Descripción: Para aislar el interior de la bomba de la atmósfera, todas las bombas, excepto las de motor eléctrico y de diafragma (de transmisión magnética) necesitan una junta en el punto en el que el eje penetra en la carcasa.

En las bombas de motor hermético (encamisadas) de no sellado, la carcasa hueca, el rotor del motor y la carcasa de la bomba están interconectados. Como resultado,

los cojinetes del motor funcionan en contacto con el líquido que se bombea y se eliminan todas las juntas del eje. Por ello estas bombas no son adecuadas para el transporte de sustancias que contengan partículas.

Información operativa: El mantenimiento de las partes eléctricas del motor requiere que la unidad se limpie completamente de fluidos de proceso.

Aplicabilidad: Las bombas de motor eléctrico no pueden usarse con productos que puedan contener partículas. Para los solventes clorados se utilizan habitualmente bombas centrífugas de transmisión magnética.

Cuestiones de seguridad: Las bombas de motor eléctrico representan un mayor riesgo de incendio cuando se transportan sustancias inflamables.

Energía/residuos/efectos cruzados: Dependiendo del diseño del sistema, la limpieza de la unidad puede generar residuos adicionales en comparación con las bombas de motor tradicionales. Las bombas de no sellado requieren más energía que las convencionales.

Aspectos económicos: Técnica de coste medio en sistemas nuevos y de elevado coste en caso de remodelación de las instalaciones.

Bibliografía de referencia: [152, TETSP, 2002] [156, ECSA, 2000]

4.2.9.10. JUNTAS INDIVIDUALES MEJORADAS PARA BOMBAS

Descripción: Entre las tecnologías utilizadas destacan elementos finitos de gran sofisticación y otras técnicas de elaboración de modelos para la optimización de las formas de los componentes, dinámica de fluidos computacional, desarrollos a partir de materiales especiales, mejora de las propiedades tribológicas, ajustes del perfil superficial de la cara de frotamiento, y los conjuntos prefabricados que eliminan los errores de instalación. Otro factor que potencia la mejora del rendimiento y de la fiabilidad de las nuevas tecnologías de junta es la capacidad de realizar pruebas de alto rendimiento por parte de los fabricantes de las juntas.

Además, en contextos en los que se requiere contener sustancias peligrosas con un mecanismo de junta única, se suele añadir algún tipo de dispositivo de contención externo que permita la recogida de cualquier nivel anormal de fuga generada por el vapor y, en caso necesario, advierta a los operadores a través de un sistema de alarma activado por la presión. Existen muchos tipos de dispositivos de contención secundaria, entre ellos casquillos fijos o flotantes y juntas de reborde (con accionamiento mediante resortes o presión). El espacio situado entre la junta mecánica y determinados tipos de dispositivos de contención secundaria puede rellenarse

con un fluido que cree un entorno que evite la degradación o la cristalización de las fugas.

Para evitar emisiones es importante que las juntas de la bomba (y el ajuste y las juntas de los conductos) se monten e instalen de tal manera que, durante el funcionamiento, sean técnicamente impermeables respecto a la atmósfera que las rodea y no sean forzadas y desplazadas de su lugar en condiciones de funcionamiento normal.

A la hora de seleccionar la técnica de sellado y los materiales más apropiados suelen tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- las características de la sustancia
- las exigencias mecánicas, térmicas y de producto
- la estabilidad en relación con el medio transportado.

Beneficios ambientales obtenidos: En juntas mecánicas únicas se han obtenido unos caudales de fuga de entre 0,42 y 1,25 g/h según la información aportada por una planta petroquímica de los Países Bajos y de entre 0,63 y 1,67 g/h según datos correspondientes a una planta química de Alemania.

Los datos y las situaciones anteriores se han plasmado en la directriz alemana VDI 2440, en la que se recomienda que los operadores utilicen un caudal de fuga de 1 g/h como media para las juntas mecánicas únicas de las bombas de proceso.

Los valores de emisión suelen situarse por debajo de 1 g/h en condiciones de funcionamiento normales del emplazamiento.

Información operativa: Las juntas mecánicas únicas permiten sellar de forma económica y fiable la mayoría de procesos en que intervienen COV, de acuerdo a lo establecido en la norma API 682, siempre que se den las siguientes condiciones:

- gravedad específica del fluido de proceso $> 0,4$
- que el margen de presión del vapor en la cámara de la junta sea suficiente para lubricar la cara;
- que el fluido del proceso o de descarga proporcione la lubricación y refrigeración adecuada para las caras de la junta.

Es posible que se requieran juntas especiales si se trata de productos agresivos o solidificantes.

Aplicabilidad: Las juntas mejoradas son adecuadas para la mayoría de situaciones, si bien es necesario un nivel superior de cualificación para realizar la instalación y el mantenimiento en comparación con las bombas de prensaestopas empaquetadas.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: Los prensaestopas empaquetados constituyen el tipo de junta más económica. Las juntas mecánicas únicas son un mecanismo de coste medio en caso de sustitución en equipos nuevos, pero los costes pueden ser elevados en caso de remodelación, ya que posiblemente sea necesario realizar profundas modificaciones en el eje de la bomba.

Bibliografía de referencia: [152, TETSP, 2002, 157, VDI, 2001] [18, UBA, 1999] [149, ESA, 2004] [175, TWG, 2003]

4.2.9.11. JUNTAS DUALES NO PRESURIZADAS PARA BOMBAS

Descripción: Al diseño sencillo de una junta única (que contiene el fluido de proceso) se añade una segunda junta mecánica en el exterior de este sello primario. Las fugas de vapor que entren en la cámara de contención situada entre ambas juntas pueden así conducirse eficazmente a la antorcha o sistema de recuperación de vapor de la planta.

Beneficios ambientales obtenidos: Los diseños de junta dual con líquidos amortiguadores no presurizados proporcionan unos valores de emisiones normalmente por debajo de 0,01 g/h, lo que representa un nivel inferior a 10 ppm (< 1 g/día) cuando las emisiones se canalizan a una antorcha o sistema de recuperación del vapor.

Para lograr una eliminación casi completa de las emisiones atmosféricas puede utilizarse un flujo de gas separador de nitrógeno para purgar el gas lubricado, la junta de contención mecánica y, además, canalizarlos hasta el sistema de recuperación/eliminación.

Información operativa: Normalmente existe una conexión que enlaza la parte superior del reservorio con una antorcha de la planta o sistema de recuperación del vapor además de un orificio y una alarma que advierte del deterioro del rendimiento de sellado de la junta primaria.

Aplicabilidad: Se utiliza habitualmente cuando el fluido que se manipula es un COV. Algunos titulares utilizan el purgado mediante nitrógeno.

Bibliografía de referencia: [149, ESA, 2004]

4.2.9.12. JUNTAS DUALES PRESURIZADAS PARA BOMBAS

Descripción: Esta técnica consiste en la utilización de dos juntas con un fluido que hace de barrera (líquido o gas) entre ellas utilizado a una presión superior a la del flujo del proceso. Cualquier fuga que se produzca (exterior a la atmósfera o interior al flujo del proceso) será del fluido que actúa de barrera, por lo que es importante elegir uno que sea compatible con el flujo de proceso.

Las juntas mecánicas lubricadas por medio de líquido normalmente emplean agua o un aceite lubricante ligero como fluido de barrera suministrado desde un sistema independiente; los diseños que emplean gas para la lubricación se basan en alguna fuente de gas de la planta que resulte apropiada, por ejemplo nitrógeno gestionado a través de un sistema de control. La simplicidad y el consumo energético, muy reducido, de las juntas duales de gas presurizado han representado un gran impulso para el crecimiento de esta tecnología en años recientes.

Beneficios ambientales obtenidos: Los sistemas duales presurizados prácticamente eliminan las fugas de líquido de proceso al ambiente y normalmente presentan unos valores de emisiones cercanos a cero, a menudo descritos del siguiente modo: «no medibles con la tecnología instrumental actual».

Información operativa: El potencial de fallo del sistema de barrera a la hora de mantener una presión superior a la del flujo de proceso es un escenario que, aunque improbable, debe tenerse en cuenta. El sistema puede configurarse para advertir del problema al operador en caso. Además, las juntas mecánicas duales presurizadas actuales pueden dotarse de un conjunto de componentes capaces de resistir fallos del sistema de barrera y seguir conteniendo eficazmente el fluido de proceso durante cierto período de tiempo; la mayoría de normas internacionales que regulan el uso de bombas requieren actualmente mecanismos de este tipo.

Aplicabilidad: Estos diseños de junta pueden utilizarse con fluidos de sellado de proceso que tengan escasas propiedades lubricantes, para usos en los que las juntas únicas no resultan fiables o cuando los fluidos de proceso cambian frecuentemente (por ejemplo en tuberías); además, es la opción elegida cuando el fluido manipulado es especialmente peligroso.

Aspectos económicos: Los sistemas de junta mecánica dual son caros.

Bibliografía de referencia: [113, TETSP, 2001, 149, ESA, 2004]

4.2.9.13. JUNTAS PARA COMPRESORES

Descripción: Las juntas para compresores plantean cuestiones parecidas a las de las bombas (véanse los apartados 4.2.9.10, 4.2.9.11 y 4.2.9.12).

Los compresores de desplazamiento positivo de baja velocidad suelen sellarse mediante juntas mecánicas simples lubricadas con aceite que fluye a través del conjunto de cojinete interno. El aceite se separa y recicla. Es práctica habitual emplear una junta de reborde activada exterior a la junta primaria para contener posibles fugas de aceite, lo que contribuye a canalizar el aceite contaminado durante el proceso a una cámara de recogida apropiada.

Este planteamiento se mejora con la incorporación de una junta de contención mecánica lubricada. Con esta técnica no se necesita líquido amortiguador y el gas transportado, que se encuentra en condiciones atmosféricas en la cámara de contención, proporciona por sí mismo la lubricación que necesita la junta de contención. Otra ventaja es que la cámara de contención está directamente conectada a una antorcha de la planta o a un sistema de recuperación del vapor dotado de un orificio y una alarma de presión que advierte del deterioro del rendimiento de sellado de la junta primaria.

Ocasionalmente se utiliza nitrógeno para purgar la junta de contención exterior y contribuir a la recogida y la separación del aceite lubricante y del gas que se transporta.

Cuando el gas transportado está contaminado por alguna impureza tóxica (por ejemplo H_2S en gas de hidrocarburo sulfurado) puede utilizarse también nitrógeno para purgar la cara de la junta de contención en contacto con el proceso. Cuando ello no resulte práctico puede incorporarse un flujo de gas inerte.

Cuando la presión es muy elevada, ésta se descompone a través de dos juntas primarias y una de contención. Este mecanismo de junta triple se ha utilizado con éxito para sellar compresores de reciclaje de hidrógeno.

Aspectos económicos: Las juntas mecánicas lubricadas por medio de aceite tienen unos elevados costes de inversión de capital. Las ventajas de las juntas mecánicas lubricadas por medio de gas son los menores costes de inversión y explotación.

Bibliografía de referencia: [149, ESA, 2004]

4.2.9.14. CONEXIONES DE MUESTREO MEJORADAS

Descripción: Los puntos de muestreo pueden equiparse con una válvula de muestreo de vástago o una válvula de aguja y una válvula de bloqueo que mi-

nimice las emisiones. En la fase de diseño deben tenerse siempre en cuenta los procedimientos seguros.

Cuando las tuberías de muestreo requieren una purga para obtener muestras representativas pueden instalarse conductos de muestreo de circuito cerrado, ya que permiten controlar las emisiones de líquido purgado devolviéndolo directamente a la tubería de proceso o bien recogiénolo y reciclándolo o transportándolo a un dispositivo de control.

Información operativa: Se requieren procedimientos operativos y de formación.

Aplicabilidad: Aplicable a los productos volátiles.

Cuestiones de seguridad: Los procedimientos seguros deben tenerse siempre en cuenta en la fase de diseño.

Energía/residuos/efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: Dependen de la complejidad del sistema de muestreo; pueden tener un coste bajo a medio.

Bibliografía de referencia: [152, TETSP, 2002]

4.2.10. MCE para los sistemas de manipulación de producto: incidentes y accidentes (graves)

4.2.10.1. CONEXIONES BRIDADAS EN POZOS IMPERMEABLES

En las tuberías subterráneas es habitual realizar todas las conexiones mediante bridas instaladas en el interior de pozos impermeables accesibles desde la superficie.

4.3. Almacenamiento de sólidos

4.3.1. Medidas de control de las emisiones (MCE) generales

Este apartado contiene una descripción general de las diferentes medidas de control de las emisiones (MCE) que afectan a distintos materiales a granel. La Tabla 8.3 del anexo muestra los métodos de almacenamiento utilizados y los materiales a granel más significativos. La Tabla 8.29 muestra estos mismos materiales a granel en combinación con técnicas seleccionadas para la determinación de las MTD. En la misma tabla se valoran las técnicas elegidas respecto a los siguientes parámetros:

- potencial de reducción del polvo
- consumo energético
- efectos cruzados
- requisitos de inversión
- costes de explotación.

En los próximos apartados se describen estas técnicas con mayor detalle. Sin embargo, existían otras MCE identificadas que no aparecen en la Tabla 8.29 y que también se analizan a continuación; todas ellas han sido estudiadas por el GTT, que ha determinado cuáles son MTD.

Tras describir de forma general en el apartado 4.3.2 los distintos enfoques que permiten minimizar las emisiones de polvo generadas por el almacenamiento, se analizan los posibles métodos organizativos primarios en el apartado 4.3.3, mientras que en el apartado 4.3.4 se tratan las técnicas de construcción primarias. El apartado 4.3.5 es un tanto distinto del resto de secciones, ya que todos los enfoques que contiene, primarios o secundarios, para la prevención/reducción de las emisiones en el caso concreto de las pilas se recogen en una misma tabla, la Tabla 4.13. El apartado 4.3.6 prosigue con la descripción de las técnicas primarias de reducción del polvo durante el almacenamiento y el apartado 4.3.7 analiza las secundarias. El apartado 4.3.8 se centra en la prevención y el control de explosiones.

4.3.2. Métodos generales para minimizar el polvo durante el almacenamiento

Existen tres aproximaciones para la reducción de las emisiones de polvo:

1. Los **métodos preprimarios** se inician con la producción o la extracción y limitan la tendencia del material a formar polvo antes de abandonar la planta de producción. Los enfoques preprimarios son parte del proceso de producción, por lo que quedan fuera del objeto del presente documento y, a excepción de algunos ejemplos incluidos en el apartado 4.4.2, no se describen en mayor profundidad.
2. Los **métodos primarios** corresponden a todos los sistemas empleados para reducir las emisiones durante el almacenamiento; pueden dividirse en las siguientes categorías:
 - métodos primarios organizativos: actuación por parte de los operadores
 - métodos primarios constructivos: construcciones que evitan la formación de polvo
 - métodos primarios técnicos: técnicas que evitan la formación de polvo.
3. Los **métodos secundarios** son técnicas de reducción de las emisiones que limitan la distribución del polvo.

La Tabla 4.12 contiene una presentación general de los métodos y técnicas que permiten reducir las emisiones de polvo durante el almacenamiento así como una referencia al apartado en que se tratan, si lo hay.

Bibliografía de referencia: [17, UBA, 2001]

Cabe destacar que la elección de un tipo de sistema de almacenamiento y de una MCE para reducir las emisiones de polvo depende de las propiedades del producto. En el caso especial de los productos acabados, donde las especificaciones del cliente son cruciales, la elección del equipo de almacenamiento y de las MCE se basa en muchos factores como, por ejemplo, la resistencia del producto a la atribución, la capacidad de romperse, triturarse, fluir y aglomerarse, su estabilidad química y su sensibilidad a la humedad.

Tabla 4.12: Métodos y técnicas para reducir las emisiones de polvo generadas durante el almacenamiento y los apartados en que aparecen [17, UBA, 2001]

Métodos y técnicas para la reducción de las emisiones		Apartado	
Primarias	Organizativas	• seguimiento	4.3.3.1
		• disposición y funcionamiento de los lugares de almacenamiento (a cargo del personal de planificación y explotación)	
		• mantenimiento (técnicas de prevención/reducción)	
		• reducción de las superficies expuestas al viento	
	Constructivas	• silos de gran volumen	4.3.4.1
		• hangares o tejados	4.3.4.2
		• bóvedas	4.3.4.3
		• cubiertas autoinstalables	4.3.4.4
		• silos y tolvas	4.3.4.5
		• montículos, vallas o plantaciones de protección contra el viento	4.3.5
Técnicas	• uso de protecciones contra el viento	4.3.5; 4.3.6.2	
	• cubierta de almacenamiento al aire libre	4.3.5; 4.3.6.3	
	• humidificación del almacenamiento abierto	4.3.6.1	
Secundarias	• aspersión de agua/cortinas de agua y aspersión de agua a presión	4.4.6.8;4.4.6.9	
	• extracción de polvo de hangares y silos de almacenamiento	4.3.7	

Nota: La línea divisoria entre métodos primarios y secundarios no siempre está clara; por ejemplo, una cortina de agua limita la distribución de las emisiones de polvo y constituye, al mismo tiempo, un método de aglomeración del polvo.

4.3.3. Métodos organizativos primarios para minimizar el polvo generado durante el almacenamiento

4.3.3.1. SEGUIMIENTO DE LAS EMISIONES DE POLVO GENERADAS POR EL ALMACENAMIENTO AL AIRE LIBRE

Descripción: Las inspecciones visuales regulares o continuas para comprobar si se producen emisiones de polvo generadas por el almacenamiento al aire libre y comprobar si las medidas preventivas se encuentran en buen estado son necesarias para poder reaccionar rápidamente y adoptar las medidas adecuadas. La medición de las concentraciones de polvo en la atmósfera y alrededor de los emplazamientos de gran tamaño son un método de control y seguimiento que puede llevarse a la práctica de forma continua o discontinua. La medición de los niveles de polvo también permite comprobar si se respetan los niveles de calidad del aire.

Para más información sobre el control véase el documento de referencia que trata los principios generales del control [158, EIPPCB, 2002].

Información operativa: En los Países Bajos se utilizan sistemas de control continuo en las tres principales plantas de almacenamiento y manipulación de carbón y mineral. En Corus, IJmuiden, un productor de acero que produce más de seis millones de toneladas de productos de acero al año lleva aplicando un sistema de control continuo de las concentraciones de polvo en los alrededores del emplazamiento desde 1990. En otras dos grandes plantas de almacenamiento situadas en el área de Rotterdam-Rijnmond se utiliza una sofisticada red de mediciones para el control continuo de puntos de medición emplazados en las instalaciones y sus alrededores, en la dirección del viento. En estas dos plantas pueden detectarse incluso diferentes niveles de emisiones de polvo entre diferentes turnos. En una de ellas se han instalado siete dispositivos de control.

Para poder anticiparse a la climatología, y en especial al aumento de la velocidad del viento o a cambios de dirección peligrosos, la persona responsable de la aspersión de las pilas en las instalaciones de Corus también es responsable del seguimiento de los partes meteorológicos. Controlar la climatología, por ejemplo a través de instrumentos meteorológicos *in situ*, ayuda a identificar cuándo es necesario humedecer las pilas y evita el uso innecesario de recursos para el almacenamiento al aire libre.

Aspectos económicos: Un dispositivo de seguimiento continuo cuesta 7000 EUR. Los costes de explotación, por ejemplo el procesamiento y el mantenimiento de los datos, son superiores.

Bibliografía de referencia: [134, Corus, 1995] [176, EIPPCB Ineke Jansen, 2004]

4.3.4. Técnicas constructivas primarias para minimizar las emisiones de polvo durante el almacenamiento

4.3.4.1. SILOS DE GRAN VOLUMEN

Descripción: Los silos de gran volumen tienen el fondo plano y un equipo de descarga en el centro en el que el contenido se dispone formando capas horizontales. En el interior del silo también hay un esparcidor, una tubería telescópica y un sistema de transporte helicoidal. El sistema de transporte helicoidal (tornillo sin fin) consta de un distribuidor y una barrera contra el polvo. El sistema de transporte está unido al esparcidor por una serie de cables y guías que lo mantienen constantemente sobre la superficie del material almacenado.

El empleo de mecanismos de filtración en el interior de la tubería telescópica y en los puntos de transporte genera una subpresión y evita que el polvo escape del silo.

Existen tres tipos distintos de construcción:

Flujo central

En este tipo de construcción la descarga se produce desde la parte inferior; el material forma su propio canal central por gravedad. La superficie del material adopta forma de embudo. Para que el material llegue al centro del silo los tornillos rotan en sentido contrario; su velocidad determina la cantidad de material transportado.

Flujo central con columna central

El tejado del silo se sostiene sobre esta columna central. El principio de funcionamiento es parecido al del flujo central. Se utiliza para el almacenamiento de grandes volúmenes.

Columna de discos

Con las columnas de discos se forma una columna de flujo central artificial. La columna central se compone de varios discos; es un sistema adecuado para almacenar materiales a granel que no fluyen libremente y para aquellos con características de fluidez variables.

Aplicabilidad: Los silos normalmente se utilizan para proteger el producto frente a agentes externos (por ejemplo la lluvia) o para evitar perder productos de valor. También se emplean habitualmente para materiales sólidos en forma de polvo o que contengan una proporción suficiente de polvo que pueda provocar un impacto ambiental significativo. Algunos ejemplos de materiales a granel que se almacenan en silos cuando están en forma de polvo o pulverizada son el yeso procedente de la desulfuración de gases de combustión, el almidón de patata, la piedra caliza finamente triturada, las cenizas volantes, el fertilizante o el carbón pulverizado.

Aspectos económicos: Los costes varían en función de la planta. Aparte de factores habituales como la inversión y el mantenimiento, deben tomarse en consideración también las pérdidas de calidad y de cantidad de los materiales almacenados.

Motivo principal para su aplicación: El empleo de silos es apropiado para casos en los que sólo se dispone de pequeñas áreas de almacenamiento, de una capacidad de almacenamiento limitada o cuando las exigencias de reducción de las emisiones sean relativamente estrictas.

Plantas de referencia: La centrales eléctricas de Tiefstack (HEW; hulla y yeso procedente de la desulfuración de gases de combustión), Deuben (MIBRAG), Chemnitz y Lippendorf (VEAG; yeso procedente de la desulfuración de gases de combustión).

Bibliografía de referencia: [17, UBA, 2001] [175, TWG, 2003]

4.3.4.2. HANGARES O TEJADOS

Descripción: Los hangares y tejados que protegen las pilas pueden reducir las emisiones atmosféricas. De hecho, el polvo se forma por los mismos procesos que afectan al almacenamiento al aire libre, pero sólo puede escapar por las aberturas del hangar. Éstas son puertas para máquinas de carga móviles, además de aberturas del sistema de ventilación. Las emisiones de polvo procedentes de las aberturas de los hangares son relativamente escasas si el sistema de ventilación tiene las dimensiones correctas. El aire pulverulento extraído por los ventiladores puede conducirse eficazmente a través de equipos de filtración. Los hangares pueden alcanzar tamaños de entre 70 y 90 m de diámetro con capacidades de hasta 100 000 m³. A continuación se muestran algunos ejemplos (ver Figura 4.17).

Otro ejemplo es el hangar dotado de puente grúa y paletas. Se trata de resistentes estructuras de hormigón con techo y equipadas con aberturas de ventilación e iluminación en los muros, de gran altura. Las aberturas normalmente disponen de una pantalla que las protege del viento. Este tipo de almacenamiento es muy compacto y muy versátil, ya que puede dividirse en subcélulas de distintas capacidades. Estas células pueden adaptarse a los distintos usos con relativa facilidad. El puente grúa normalmente lo dirige un operador, aunque recientemente se ha popularizado el empleo de sistemas de control remoto automatizado.

Los almacenes automatizados pueden albergar hasta decenas de miles de toneladas y no sólo son apropiados para el almacenamiento, sino también para mezclar lotes del mismo material o de materiales distintos. Están equipados de máquinas automáticas que permiten formar y deshacer pilas. Éstas pueden ser lineales o circulares y se crean al depositarse las sucesivas capas de material. Las pilas

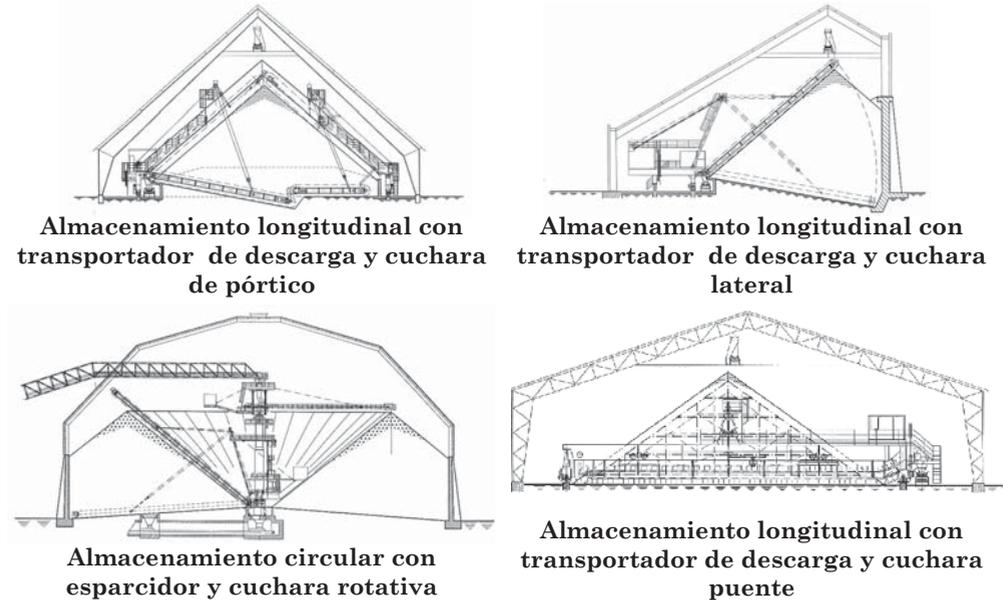


Figura 4.17: Ejemplos de hangares
[17, UBA, 2001] en referencia a Schade, Maschinenbau GmbH

pueden desmantelarse por la parte frontal por medio de máquinas dotadas de palas giratorias; para hacerlo desde los lados se utilizan cucharas. Los almacenes automáticos suelen utilizar cintas transportadoras de goma para formar y deshacer las pilas. Los distintos puntos de transferencia de material se protegen por medio de filtros de mangas convencionales.

El techo suele ser completo y desprovisto de aberturas; las paredes laterales tienen puertas de acceso para el personal y la maquinaria.

Información operativa: En la producción de aglomerantes hidráulicos se utilizan almacenes automatizados y almacenes dotados de puentes grúa para almacenar escoria y combustibles sólidos.

Aplicabilidad: Los hangares se utilizan habitualmente, por ejemplo para la homogeneización y almacenamiento de productos sensibles a la humedad o muy pulverulentos. Los almacenes equipados con puentes grúa son apropiados para la manipulación de cantidades muy pequeñas o muy grandes de cualquier tipo de material, también la escoria y los combustibles sólidos.

Efectos cruzados: A causa de su estructura cerrada, el ruido queda confinado en el interior del almacén, donde no hay presencia continua de personal si es de tipo automatizado.

Bibliografía de referencia: [89, Associazione Italiana Technico Economica del Cemento, 2000] [17, UBA, 2001]

4.3.4.3. BÓVEDAS

Descripción: La Figura 4.18 muestra un ejemplo de bóveda. Se han desarrollado técnicas especiales para la construcción de bóvedas; en la mayoría de casos se utiliza un molde con una estructura redonda hinchable especial sobre el cual se pulveriza hormigón. De este modo pueden construirse en un plazo de tiempo breve y cuentan con una capacidad razonable (por ejemplo 4000 toneladas). La ventaja de esta técnica radica en la ausencia de pilares y en la capacidad de climatización.

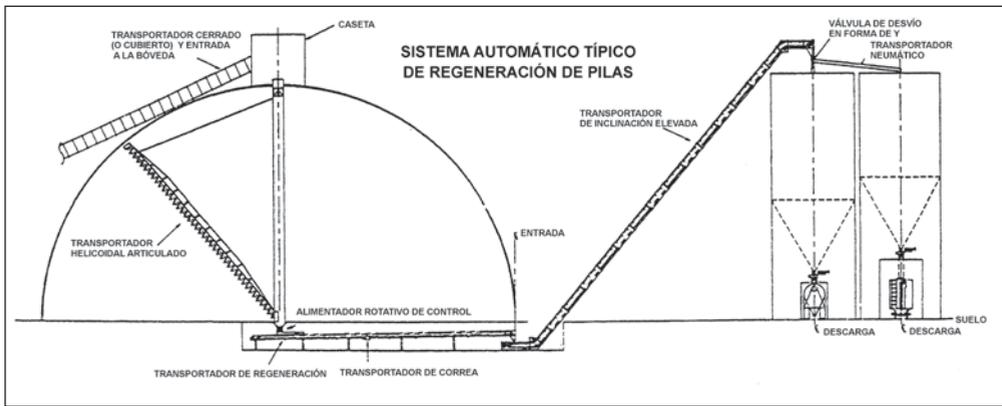


Figura 4.18: Ejemplo de bóveda [78, DCMR Milieudienst Rijnmond, 1995]

Aplicabilidad: Las bóvedas se utilizan de forma más o menos generalizada para distintos tipos de productos como, por ejemplo, carbón y fertilizante.

Bibliografía de referencia: [78, DCMR Milieudienst Rijnmond, 1995]

4.3.4.4. CUBIERTAS AUTOINSTALABLES

Descripción: Las cubiertas autoinstalables son una alternativa al almacenamiento de cereales al aire libre utilizada en Estados Unidos. Con esta técnica, el producto se apila desde arriba por debajo de una cubierta cerrada (lona impermeable); la pila se forma por debajo de esta cubierta. Para evitar que la lona se infle se crea una subpresión continua por debajo de ella por medio de ventiladores (dos de 40 kW cada uno). Las cubiertas autoinstalables se desarrollaron para los siguientes fines:

- evitar pérdidas de producto a causa del viento;
- minimizar el coste del almacenamiento de cereales;
- lograr una buena aireación de los cereales.

La cubierta debe extraerse cuando se inicia el desmantelamiento de una pila. No puede volverse a colocar, lo que implica que la operación debe durar poco tiempo para evitar que la climatología dañe el producto.

La vida útil de la cubierta/lona impermeable es bastante breve. El fabricante da una garantía de 5 años.

Beneficios ambientales obtenidos: Se producen menos pérdidas de producto que al almacenar los cereales al aire libre, que obliga a tratar la capa superior de cereal para evitar que sea arrastrada por el viento, lo que hace que no sea apta para el consumo.

Aplicabilidad: Esta técnica ha sido desarrollada para el almacenamiento de cereales, con una capacidad máxima de 50 000 m³ y durante períodos prolongados. Hasta la fecha sólo se ha utilizado para almacenar cereales, pero podría ser aplicable a otros productos siempre que tengan buenas propiedades de flujo y sean permeables al aire (es decir, comparables a los cereales).

Efectos cruzados: El mantenimiento de la subpresión requiere utilizar energía.

Bibliografía de referencia: [78, DCMR Milieudienst Rijnmond, 1995]

4.3.4.5. SILOS Y TOLVAS

Descripción: Los silos son depósitos principalmente cilíndricos con una zona de descarga cónica. Las tolvas, más pequeñas (intermedias), a menudo son rectangulares, con una zona de descarga en forma piramidal. El tiempo de permanencia de los productos sólidos a granel en estos contenedores puede ser muy breve, a veces de tan sólo un par de minutos, por ejemplo en la tolvas de dosificación. También en los silos puede ser breve, de unos pocos días o semanas.

Desde el punto de vista de las cuestiones ambientales y de salud y seguridad se detectan cinco aspectos críticos:

- diseño del silo o tolva desde el punto de vista de la estabilidad;
- diseño del silo o tolva desde el punto de vista de la facilidad de descarga del material a granel;
- eliminación de las explosiones de polvo;
- eliminación del polvo durante el llenado del silo o la tolva;
- eliminación del polvo durante el vaciado del silo o la tolva.

Normalmente los silos se diseñan, desde el punto de vista de la estabilidad, de acuerdo con la norma DIN 1055, parte 6. Los silos son, sin embargo, peculiares porque la mayor tensión sobre el material ensilado se produce en la zona de transición entre la parte cónica y la cilíndrica. Cuando un silo se llena o se vacía tienen lugar elevadas tensiones. El grosor de la pared del silo debe ser capaz de resistirlas para evitar derrumbamientos. Según la norma DIN 1055, el diseño del silo está determinado principalmente por las propiedades físicas del material a granel que va a almacenar, por ejemplo:

- densidad de la carga;
- ángulo de fricción de la pared;
- ángulo de fricción efectivo interno;
- valor de carga horizontal;
- factor de carga en la parte inferior;
- factor de descarga.

Las vibraciones son las situaciones más peligrosas para los silos, ya que pueden provocar grietas en las soldaduras. Las vibraciones se producen en materiales con el llamado efecto «slip stick», un comportamiento no uniforme del flujo. Este efecto puede determinarse a través de una investigación concienzuda del comportamiento del flujo a través de una prueba de cizallamiento

Una vez introducido en el silo, el material a granel debería poder descargarse con facilidad. En caso de que se solidifique o que no pueda descargarse a causa de un diseño inapropiado, deberá retirarse manualmente, con todas las posibles consecuencias como la explosión del polvo o la manipulación de material peligroso.

Que el material pueda descargarse fácilmente depende de la geometría del cono y del diámetro de la tobera de descarga, que deberían establecerse en la fase de diseño de acuerdo con el ángulo de fricción sobre la pared del material a granel en relación con el material del cono y de acuerdo también con la cohesividad (límite de fluencia no confinado) del material a granel. Estas propiedades se miden mediante un equipo Jenike, también llamado «Ring Shear Tester» según las recomendaciones de la asociación Institution of Chemical Engineers.

A menudo se instalan filtros de polvo para evitar las emisiones durante el llenado y el vaciado; véase el apartado 4.3.7.

Beneficios ambientales obtenidos: En comparación con el almacenamiento en pilas, los niveles de emisiones son muy bajos, en especial si se dispone de filtros de polvo.

Aplicabilidad: Los silos y tolvas tienen un uso generalizado.

Cuestiones de seguridad: Existen silos resistentes a las explosiones; véase el apartado 4.3.8.3.

Efectos cruzados: Ninguno.

Bibliografía de referencia: [163, Cefic, 2002] y:

DIN 1055: Lastannahmen für Bauten, parte 6: Lasten in Silozellen. Beuth Verlag, Berlín, 1987.

Jenike, A.W.: Storage and flow of solids Bull. N° 123, Engng. Exp. St., Univ. of Utah, Salt Lake City, 1964.

Schwedes, J.: Fließverhalten von Schüttgütern in Bunkern, Verlag Chemie, Weinheim, 1968.

Standard Shear Testing Technique for Particulate Solids Using the Jenike Shear Cell, The Institution of Chemical Engineers, Rugby, 1989.

4.3.5. Técnicas para la prevención/reducción de las emisiones de polvo y medidas utilizadas para el almacenamiento al aire libre

En general, el método más efectivo para prevenir o reducir las emisiones de polvo generadas por almacenes al aire libre es el almacenamiento cerrado en hangares, depósitos o silos, aunque ello no siempre es posible por motivos económicos, técnicos y/o logísticos. En este apartado se tratan las numerosas técnicas de reducción disponibles para el almacenamiento al aire libre, empezando con la Tabla 4.13 Métodos de reducción del polvo en almacenes al aire libre y sus limitaciones. En los apartados 4.3.6.1, 4.4.6.8 y 4.4.6.9 se describen las distintas técnicas de aspersión de agua.

Tabla 4.13: Métodos de reducción del polvo en almacenes al aire libre y sus limitaciones [17, UBA, 2001]

Método de reducción	Observaciones	Tipo de pila
Eje longitudinal de la pila paralelo al viento dominante	posibles limitaciones de cara a la implementación: <ul style="list-style-type: none"> • situación geográfica desfavorable (valles/cursos fluviales) • infraestructuras desfavorables (las carreteras y las líneas férreas no pueden desviarse) • propiedad (tamaño y forma del emplazamiento disponible) 	Almacenamiento a largo plazo y a corto plazo
Plantaciones de protección, vallas contra el viento (véase el apartado 4.3.6.2) o bien aplomamiento contra el viento para reducir su velocidad	<ul style="list-style-type: none"> • las plantaciones de protección son menos efectivas, al caer las hojas, en invierno, una época en la que las velocidades del viento son particularmente elevadas 	Almacenamiento a largo plazo y a corto plazo
Humedecimiento de la superficie de la pila mediante un sistema de aspersión (véase el apartado 4.3.6)	posibles restricciones: <ul style="list-style-type: none"> • sensibilidad del material a la humedad • falta de recursos hídricos • impuestos sobre las aguas subterráneas • no resulta útil en caso de tormenta • no resulta útil en caso de helada • peligro de alteración de los productos (pérdida de la calidad) 	Almacenamiento a largo plazo y a corto plazo
Formación de una sola pila en vez de varios siempre que sea posible; si dos pilas almacenan la misma cantidad que uno solo, las superficies libres aumentan en un 26 % [91, Meyer y Eickelpasch, 1999]	<ul style="list-style-type: none"> • no resulta apropiado para el almacenamiento conjunto de diferentes materiales a granel • deben tenerse en cuenta la forma y el tamaño del emplazamiento • son necesarios dispositivos de formación de pilas adecuados 	Almacenamiento a largo plazo y a corto plazo
Si se crea un montículo de forma cónica, el ángulo de pendiente óptimo es $\alpha = 55^\circ$	<ul style="list-style-type: none"> • los ángulos de pendiente dependen de las propiedades del material a granel y son difíciles de modificar. El ángulo óptimo mencionado es el valor ideal. En la práctica, los ángulos de pendiente logrados oscilan entre 20 y 45°. 	Almacenamiento a largo plazo y a corto plazo

Si se forma un cono truncado, la proporción óptima del radio de la parte plana superior respecto a la longitud del cono truncado es de 0,55	<ul style="list-style-type: none"> • con esta proporción puede lograrse una minimización óptima de la superficie libre 	Almacenamiento a largo plazo y a corto plazo
Por lo que respecta a la superficie de las pilas, se prefiere un área de sección transversal circular a las pilas en forma anular o longitudinal	<ul style="list-style-type: none"> • las pilas circulares requieren transportadores especiales (por ejemplo de largo alcance) 	Almacenamiento a largo plazo
Las pilas con forma de anillo abierto son menos favorables que los de forma cerrada	<ul style="list-style-type: none"> • las pilas con forma anular cerrada sólo pueden utilizarse para el almacenamiento a largo plazo; los que aumentan y disminuyen de volumen constantemente siempre son abiertos 	
El almacenamiento con muros de retención reduce la superficie libre y conlleva una reducción de las emisiones de polvo difusas. Esta reducción se maximiza si el muro se sitúa contra el viento en caso de almacenamiento al aire libre	<ul style="list-style-type: none"> • resulta útil para montículos de tamaño pequeño o medio, pero no grande • los muros pueden limitar el acceso a las pilas • los muros de retención suponen una inversión adicional 	Almacenamiento a largo plazo y a corto plazo
Colocar los muros de retención unos cerca de otros	<ul style="list-style-type: none"> • aumenta la altura de los montículos 	Almacenamiento a largo plazo y a corto plazo
Cubrir la superficie con lonas impermeables (4.3.4.4), solidificar la superficie o cubrirla de hierba	<ul style="list-style-type: none"> • sólo resulta válido con pilas de almacenamiento prolongado 	Almacenamiento a largo plazo
Uso de aglomerantes de polvo duraderos (4.3.6.1)	<ul style="list-style-type: none"> • la sustancia aglomerante podría dañar el producto • normalmente sólo es válido para el almacenamiento a largo plazo 	Almacenamiento a largo plazo (o a corto plazo)
No formar ni deshacer pilas si la climatología es adversa (por ejemplo en períodos largos de sequía, de heladas o con vientos fuertes)	<ul style="list-style-type: none"> • tiene un potencial considerable de interrupción del funcionamiento 	Almacenamiento a corto plazo

4.3.6. Técnicas primarias de minimización del polvo generado durante el almacenamiento

4.3.6.1. ASPERSIÓN DE AGUA CON O SIN ADITIVOS

Descripción: Esta técnica de aspersión utiliza agua principalmente en combinación con aditivos. Existen distintos aditivos en el mercado, entre ellos productos fácilmente biodegradables (es decir, que al cabo de 20 días el 80 % de las sustancias ambientalmente nocivas se han biodegradado).

Los aditivos tienen las siguientes funciones:

Función humidificante La función humidificante confiere a la solución o emulsión atomizada la propiedad de penetrar en profundidad en el producto almacenado. El aditivo puede reducir la tensión superficial de la emulsión o solución. Una de las ventajas de humidificar con aditivo es que las emisiones de polvo se reducen en los posteriores procesos de manipulación del producto.

Función espumante El polvo se forma a partir de las partículas más pequeñas presentes en el material a granel. Al añadir un aditivo espumante que forma burbujas muy pequeñas (0,1 – 50 μm), estas partículas pequeñas quedarán incrustadas en las burbujas. La calidad de la espuma y el consiguiente potencial de reducción de las emisiones dependen del tamaño de las burbujas y de la estabilidad de la espuma.

Función aglomerante La función aglomerante combina la capacidad de la función humidificante con una función adhesiva. Para que la aglomeración por humedad sea más eficaz se mezcla óxido de calcio o óxido de magnesio con el aditivo. Los aceites vegetales o minerales mejoran la adherencia entre partículas pequeñas.

Las llamadas sustancias formadoras de costra son adhesivos especiales. Un ejemplo sería el empleo de polímeros de látex de base acuosa sobre pilas de carbón situadas al aire libre. La costra se forma por la polimerización del producto sobre la superficie de la pila de almacenamiento, de modo que el viento no es capaz de atacar las partículas por separado; véase la Figura 4.19.

Algunos materiales, como el yeso, forman costra sólo con agua, sin necesidad de aditivos. En estos casos basta con utilizar agua para que se forme la costra.



Figura 4.19: Formación de costra en la superficie de una pila de almacenamiento [134, Corus, 1995]

Beneficios ambientales obtenidos: Se necesita menor cantidad de agua. La generación de polvo se evita mejor con el uso de sustancias formadoras de costra que únicamente de agua.

La eficacia de la aspersión de agua mezclada con aditivos depende en gran medida de cómo se aplica la técnica y del método, la frecuencia y el mantenimiento del tratamiento. La eficacia estimada es del 90 – 99 % (en comparación con una eficacia del 80 – 98 % cuando se utiliza únicamente agua).

Algunas desventajas son que los materiales pueden afectar a la calidad del material y que se necesita disponer de dispositivos adicionales para mezclar el agua y los aditivos.

Información operativa: El aditivo empleado en Port Nordenham es el ECS 89, que se utiliza a una proporción constante de 1:3750. En Corus se utiliza una emulsión con un 3 – 5 % de látex que se aplica a las pilas de carbón.

En Corus se realizaron investigaciones para descubrir cuál es el método más adecuado para aplicar la solución de látex. El resultado fue la construcción de un camión aspersor especial dotado de un brazo atomizador de una longitud de 20 metros controlado hidráulicamente (véase la Figura 4.20). También se descubrió que la atomización uniforme de la superficie de la pila de almacenamiento es muy importante para la formación de una costra adecuada y que el empleo de una pistola aspersora no daba los resultados esperados. Para la preparación de la solución se creó una estación de mezclado con tanques de almacenamiento del concentrado suministrados por cisternas. La mezcla se bombeaba a continuación al depósito del camión. Las condiciones climatológicas durante la aspersión son aspectos esenciales



Figura 4.20: El rociado uniforme tiene una importancia capital para la formación de una costra adecuada [134, Corus, 1995]

para la obtención de una buena costra. La operación no se realiza cuando llueve, cuando ha helado o si la velocidad del viento supera los 6 m/s. Si ha estado expuesto al calor durante mucho tiempo, la pila se rocía primero con agua antes de aplicar el agente formador de costra. La aspersión con este agente se lleva a cabo en cuanto se ha formado la pila de almacenamiento o de mezclado. Cuando se ha excavado parcialmente una pila también se rocía con sustancia formadora de costra la parte expuesta. Siempre que el montículo permanezca inalterado no será necesario volver a rociarlo. Los agentes formadores de costra llevan utilizándose en Corus desde 1990.

Aplicabilidad: Este sistema se utiliza con rocas, minerales, hulla, lignito, bauxita, escorias y escombros, formación de pilas, carga y descarga de vagones y camiones y carga de buques. En ocasiones se integra en cargadores frontales, dispositivos de carga móviles o transportadores de paletas. Con todo, la formación de costra sólo es aplicable a las pilas.

Aspectos económicos: Los costes de explotación en Port Nordenham (energía, agua y aditivo) son de 0,03 DEM por tonelada de agente rociado (alrededor de 0,02 EUR) (año de referencia: 2000).

Plantas de referencia: Port Nordenham, Alemania; Corus, Países Bajos.

Bibliografía de referencia: [17, UBA, 2001] [134, Corus, 1995] [78, DCMR Milieudienst Rijnmond, 1995] [175, TWG, 2003]

4.3.6.2. MÉTODOS DE PROTECCIÓN FRENTE AL VIENTO

Descripción: Una valla o una red situada en el contorno del área de almacenamiento pueden actuar como un escudo contra el viento. El objetivo de estos

escudos es limitar la velocidad del viento y, por tanto, las emisiones de polvo. El diseño de los escudos contra el viento depende en gran medida de las características del emplazamiento; también puede ser de utilidad realizar ensayos con túneles de viento.

El concepto de almacenamiento protegido mediante terraplenes o taludes fue desarrollado en los Países Bajos en los años ochenta del siglo pasado en combinación con sistemas de regeneración tipo puente o plataforma. El regenerador se acciona desde la parte superior del terraplén, lo que permite que el punto más alto de la pila de almacenamiento quede por debajo del nivel del puente grúa o la plataforma. Una de las diferencias destacadas entre los terraplenes que protegen únicamente la pila y los que actúan de escudo contra el viento bordeando la totalidad del área de almacenamiento es que en este último caso también quedan protegidos la manipulación y el transporte dentro de la planta.

Beneficios ambientales obtenidos: Según investigaciones realizadas en Japón sobre el empleo de redes como escudos contra el viento para el almacenamiento del carbón, la velocidad del viento se reduce en un 50 %. Se logra el mismo nivel de protección combinando un terraplén alrededor de una pila rectangular con un regenerador tipo puente grúa.

La protección de las pilas con terraplenes (sin utilizar puentes grúa) tiene una eficacia neta estimada del 20 – 40 %. Es un valor neto porque aunque la erosión de las pilas se reduce en más del 50 %, las emisiones generadas durante la manipulación y el transporte (mediante cintas transportadoras) aumentan en comparación con el almacenamiento sin técnica de reducción.

Información operativa: La técnica de protección mediante terraplenes se utiliza en una terminal para carbones importados (de 17 calidades distintas) con una capacidad anual de 8 millones de toneladas. Los carbones se importan por barco en buques con una capacidad de 40 000 a 150 000 toneladas. En la terminal el carbón se carga en vagones y/o otros buques.

Aplicabilidad: Estas técnicas son válidas para cualquier cantidad de cualquier tipo de producto.

Efectos cruzados: Existe el riesgo de que los pájaros queden atrapados en las redes.

Motivo principal para su aplicación: Este sistema se desarrolló con los siguientes fines:

- reducir las emisiones de polvo;
- reducir los costes de explotación a través de una automatización del proceso;

- reducir las pérdidas provocadas por el calentamiento;
- optimizar las instalaciones para dar cabida a diferentes calidades de carbón.

Bibliografía de referencia: [78, DCMR Milieudienst Rijnmond, 1995]

4.3.6.3. LONAS IMPERMEABLES O REDES

Descripción: Las lonas impermeables y las redes de rejilla fina se utilizan en el almacenamiento abierto por los siguientes motivos:

- reducir las emisiones de polvo;
- reducir las molestias ocasionadas por los pájaros;
- (en el caso de las lonas) proteger el material de la humedad.

Las desventajas de utilizar lonas impermeables o redes son las siguientes:

- no se reducen las emisiones de polvo generadas durante el apilamiento y la regeneración
- la instalación y la extracción requieren una considerable mano de obra
- su vida útil es muy corta.

Aplicabilidad: Se utilizan para el almacenamiento exterior a largo plazo de sustancias que se dispersan con gran facilidad, por ejemplo si la humidificación no basta para evitar las emisiones de polvo. Es una técnica que no se usa a menudo.

Bibliografía de referencia: [78, DCMR Milieudienst Rijnmond, 1995]

4.3.7. Técnicas secundarias de minimización del polvo generado durante el almacenamiento: filtros de polvo en silos y tolvas

Descripción: Los equipos de almacenamiento cerrado como, por ejemplo, los silos o los hangares normalmente disponen de sistemas para filtrar el aire desplazado durante la carga (por ejemplo filtros de mangas). Para evitar tener que extraer todo el aire de un hangar, la extracción se realiza únicamente allí donde tienen lugar procesos de carga y descarga.

En el BREF CWW, con referencia [147, EIPPCB, 2002], se describen y comparan distintos sistemas de filtración.

Filtros de polvo en silos y tolvas

Los silos y las tolvas normalmente cuentan con un filtro de polvo porque durante el proceso de llenado se genera una cantidad considerable de polvo, sobre todo si se trata

de materiales a granel muy finos. Los filtros de mangas o de cartuchos instalados en la parte superior del silo son el sistema utilizado habitualmente para eliminar el polvo.

Estos filtros de cartuchos en cuestión son desechables; están formados por material filtrante, normalmente papel, y un soporte, por ejemplo de acero o de plástico. Los filtros de cartuchos deben almacenarse en depósitos una vez llenos.

Por el contrario, la estructura de los filtros de mangas está recubierta de tela, que actúa como material filtrante. Puede tratarse de una tela tejida; las telas uni o multifilamentos pueden ser de fieltro. También se utiliza comúnmente el polipropileno o el poliéster. Los filtros de mangas se limpian por vibración o por aire inverso. La fase de limpieza se inicia tras un ciclo en modo de filtración o cuando se alcanza el límite de pérdida de carga admitido por el filtro.

También se genera polvo al vaciar un silo o una tolva. El material fino a granel suele descargarse a través de un alimentador giratorio a un sistema transportador neumático o directamente a un alimentador de hélice. El polvo generado durante la descarga puede separarse, por lo general, utilizando los filtros de cartuchos o bujía antes descritos.

A menudo el proveedor del material a granel adopta medidas para evitar que se genere polvo, por ejemplo:

- tamizado o clasificación del material a granel. Habitualmente se emplea un tamaño de separación de los finos de 100 μm ;
- recubrir los sólidos a granel con una fina capa de sustancia adhesiva para que las partículas muy finas queden unidas a las más gruesas.

Es una práctica muy corriente distribuir las partículas en función de su tamaño como una especificación más. Al tener que reducir al mínimo las partículas con un tamaño $< 10 \mu\text{m}$, éstas normalmente se separan del material a granel.

Beneficios ambientales obtenidos: Los filtros de polvo de silos y tolvas suelen lograr unos niveles de emisión de partículas de 1 a 10 mg/m^3 , dependiendo de la naturaleza o el tipo de sustancia almacenada.

Información operativa para silos y tolvas: El área de filtración necesaria depende del volumen de gas desplazado o del volumen de gas necesario para el transporte neumático de los sólidos a granel al silo. Por lo común se mantiene una velocidad de 1 – 2 m/min. La pérdida de carga característica máxima, antes de la limpieza, se encuentra entre 4 – 10 kPa.

Aplicabilidad para silos y tolvas: La decisión de utilizar filtros de mangas o de cartuchos depende de la cantidad de polvo que deba extraerse. Si el material es

grueso y los ciclos de llenado del silo breves, los filtros de cartuchos resultan más adecuados. Si el llenado y vaciado de materiales finos se realiza continuamente y se utiliza una tolva, los filtros más apropiados son los de mangas. Este tipo de técnica de reducción de las emisiones sólo puede decidirse caso por caso.

Aspectos relativos a la seguridad de silos y tolvas: Por lo general, existe riesgo de explosión de polvo cuando se manipulan y almacenan polvos finos de material orgánico. Los silos que almacenan material orgánico fino se purgan con nitrógeno. Las medidas para evitar las explosiones de polvo se describen, por ejemplo, en: «VDI Richtlinie 2263, Staubbrände und Staubexplosionen».

Bibliografía de referencia: [148, VDI-Verlag, 1994] [147, EIPPCB, 2002, 163, Cefic, 2002] y:

Löffler, F: Staubabscheiden, Stuttgart, Thieme Verlag, Nueva York, 1988.

VDI 2263, «Staubbrände und Staubexplosionen», en: VDI Richtlinie zur Reinhaltung der Luft, vol. 6, VDI Verlag, Dusseldorf.

4.3.8. Medidas de prevención de incidentes y accidentes (graves)

Son muchos los sectores en los que se almacenan y manipulan materiales a granel (sólidos) orgánicos. Se trata de productos inflamables en presencia de oxígeno y una fuente de ignición; el polvo generado por los materiales orgánicos sólidos puede llegar incluso a explotar.

Las fuentes de ignición se describen en el apartado 4.1.6.2.1: Zonas inflamables y fuentes de ignición.

El apartado 4.3.8.2 incluye las conclusiones de una encuesta realizada en el Reino Unido sobre incendios de consideración en almacenes y otras zonas de almacenamiento que albergan exclusivamente materiales sólidos. En los apartados 4.3.8.3 y 4.3.8.4 se describen algunas técnicas de prevención y control de explosiones.

4.3.8.1. GESTIÓN DE LA SEGURIDAD Y DEL RIESGO

Véase el apartado 4.1.6.1, donde se analizan las directrices de la Directiva Seveso para el almacenamiento de líquidos peligrosos o gases licuados en tanques. Los mismos principios son válidos para el almacenamiento y la manipulación de sustancias sólidas peligrosas, independientemente del tipo de sistema de almacenamiento.

4.3.8.2. INCENDIOS EN ALMACENES PARA MATERIALES SÓLIDOS

Descripción: Se ha llevado a cabo un estudio sobre 290 incendios con presencia de materiales sólidos en almacenes del Reino Unido. Los resultados han señalado categorías concretas de materiales (véase la Tabla 4.14), las fuentes de ignición más habituales (véase la Tabla 4.15), la existencia de sistemas de aspersión y el porcentaje estadístico de incendios provocados.

Los materiales sólidos presentes en los incendios se han organizado por tipo y uso. Las categorías reflejan un amplio espectro de materiales encontrados en los almacenes.

Como muestra la Tabla 4.14, los materiales de embalaje son los elementos que más a menudo se ven afectados por los incendios ocurridos en almacenes. En la actualidad, la atención se centra en especial en los productos almacenados en ellos.

Tabla 4.14: Materiales presentes en los 290 incendios [135, C.M. Bidgood y P.F. Nolan, 1995]

Material	Número de veces que este material ha tenido relación con los incidentes*)	Porcentaje del total
Papel (no como material de embalaje)	53	11,0
Productos textiles	64	13,2
Alimentos	28	5,8
Mobiliario	51	10,6
Plásticos	60	12,4
Productos químicos	27	5,6
Productos domésticos	42	8,7
Madera	25	5,2
Embalaje general	133	27,5

*) En varios incendios estaba presente más de un material

Se ha incluido la causa de cada incendio (si se conoce) con el fin de identificar qué tipos de fuentes de ignición son las responsables de los incendios en almacenes, como muestra la Tabla 4.15 .

El estudio muestra que el 86 % de las edificaciones de almacenamiento no estaban equipadas de sistemas de protección frente a incendios y que en aproximadamente el 3 % de los casos se disponía de sistemas de aspersión pero estaban desconectados en el momento del incendio.

Los incendios intencionados en instalaciones comerciales e industriales han aumentado considerablemente en los últimos 20 años y actualmente son un problema de primer orden ante el cual los almacenes están particularmente expuestos. La actuación de pirómanos es la causa más destacada de los incendios en almacenes, responsable del 29 % de todos los incidentes.

Tabla4. 15: Fuentes de ignición [135, C.M. Bidgood and P.F. Nolan, 1995]

Fuente de ignición	Número de incidentes	Porcentaje del total
Comportamiento malintencionado	84	29,0
Fallo eléctrico	27	9,3
Material de fumador	26	9,0
Calefacción	12	4,1
Niños con cerillas	4	1,4
Trabajos en caliente	11	3,8
Trabajos en frío	4	1,4
Fluorescentes	5	1,7
Quema de residuos	9	3,1
Combustión espontánea	7	2,4
Otras	19	6,5
Desconocidas	82	28,3

Bibliografía de referencia: [135, C.M. Bidgood y P.F. Nolan, 1995]

4.3.8.3. SILOS RESISTENTES A LAS EXPLOSIONES

Descripción: Un ejemplo de silo resistente a las explosiones se encuentra en las instalaciones de Firma Bissinger GmbH, en Zaberfeld, Alemania. Se utiliza para el almacenamiento y la carga y descarga de almidón de maíz y tiene las siguientes características:

- la reducción máxima posible, aunque económicamente viable, del riesgo de explosión a través de medidas constructivas;
- protección del vehículo acoplado durante el proceso de carga/descarga así como de otros vehículos acoplados cuando se produce la explosión; protección de los elementos importantes de los alrededores frente a la energía liberada en caso de explosión;
- sistema de detección segura para explosiones;
- inertización automática con una sustancia inerte en todos los niveles posibles de sustancia.

La estructura del silo es capaz de resistir la energía de la explosión sin que alcance al vehículo durante el proceso de carga o descarga. Todos los equipos del silo son resistentes a la presión y están fabricados con materiales antiestáticos, también el sistema de filtración.

Bibliografía de referencia: [143, información del fabricante, 2001]

4.3.8.4. VÁLVULAS DE SEGURIDAD

Descripción: Las explosiones se caracterizan por un aumento muy rápido de la presión y la temperatura, por lo que las válvulas de seguridad deben ser capaces de resistir ambas situaciones. La válvula de seguridad se abre cuando la presión aumenta, a causa de la explosión, hasta una sobrepresión de 0,05 bar o, en casos especiales, a una sobrepresión de sólo 0,01 bar. Los gases residuales escapan de forma radial a través de la válvula, que también está dotada con un parallamas que evita que las llamas salgan del silo o tanque. A diferencia de las válvulas de seguridad convencionales, la que se ilustra en la Figura 4.21 (un diseño patentado) se cierra rápidamente tras la explosión para impedir que penetre oxígeno en el interior del silo o tanque, ya que podría provocar un incendio secundario.

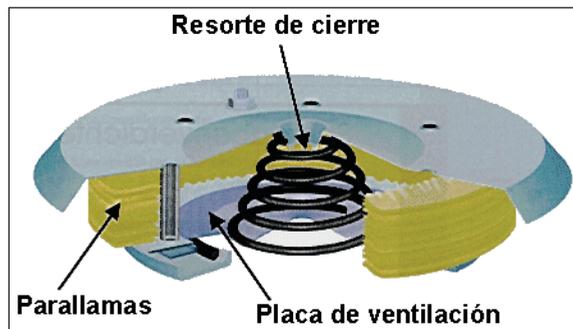


Figura 4.21: Ejemplo de válvula de seguridad (diseño patentado)
[145, Hoerbicher, 2001]

Información operativa: La válvula ha demostrado funcionar adecuadamente en los siguientes casos de explosión:

- en tanques y silos en los que se ha producido una explosión de polvo al almacenar grano;
- en tanques y silos en los que se almacenaban sólidos inflamables;
- en equipos de extracción utilizados en la industria;
- en lugares donde se tritura carbón;
- en instalaciones de secado.

Este tipo de válvula de seguridad no requiere mantenimiento tras la explosión.

Aplicabilidad: La válvula de seguridad mostrada en la Figura 4.21 puede emplearse en silos y tanques nuevos y ya existentes. Existen más de 150 000 de estas válvulas instaladas en lugares donde pueden producirse explosiones de polvo o explosiones de polvo combustible.

Efectos cruzados: Ninguno.

Cuestiones de seguridad: No tiene aspectos negativos relativos a la seguridad. Las válvulas de seguridad impiden que el tanque o silo explote.

Bibliografía de referencia: [145, Hoerbicher, 2001]

4.3.9. Lixiviación al suelo o a las aguas superficiales

No se ha aportado información al respecto.

4.4. Manipulación de sólidos

4.4.1. Medidas de control de las emisiones (MCE) generales

Este apartado contiene una descripción general de las diferentes medidas de control de las emisiones (MCE) que afectan a la manipulación de distintos materiales a granel. La Tabla 8.4 del anexo muestra los métodos de manipulación utilizados y los materiales a granel más significativos. La Tabla 8.30 muestra estos mismos materiales a granel en combinación con técnicas seleccionadas para la determinación de las MTD. En la misma tabla se valoran las técnicas elegidas respecto a los siguientes parámetros:

- potencial de reducción del polvo
- consumo energético
- efectos cruzados
- requisitos de inversión
- costes de explotación.

En los próximos apartados se describen estas técnicas con mayor detalle. Sin embargo, existían otras MCE identificadas que no aparecen en la Tabla 8.30 y que también se analizan a continuación; todas ellas han sido estudiadas por el GTT, que ha determinado cuáles son MTD.

Tras describir de forma general en el apartado 4.4.2. los distintos enfoques que permiten minimizar las emisiones de polvo generadas por la manipulación se

analizan los posibles métodos organizativos primarios en el apartado 4.4.3. En el apartado 4.4.5 se tratan las posibles técnicas primarias y en el 4.4.6 se describen un buen número de posibles técnicas secundarias. El apartado 4.4.7 se centra en la manipulación de sólidos embalados y el 4.4.8 en la prevención y el control de explosiones.

4.4.2. Métodos generales para minimizar el polvo durante la manipulación

Existen distintos métodos de reducción de las emisiones de polvo:

1. Los **métodos preprimarios** se inician con la producción o la extracción y limitan la tendencia del material a formar polvo antes de abandonar la planta de producción. Los enfoques preprimarios son parte del proceso de producción, por lo que quedan fuera del objeto del presente documento y, a excepción de los siguientes ejemplos, no se describen en mayor profundidad:

Producción de pellets o briquetas

- a los minerales finos con partículas de un tamaño de 100 μm o más pequeñas se les da forma, por medio de aditivos, de pequeñas bolas y se endurecen al fuego;
- los pellets pueden obtenerse a partir de, por ejemplo, algunos productos fertilizantes, o briquetas si se trata de materiales húmedos, con el objetivo concreto de reducir la superficie y, de este modo, la tendencia del material a granel a generar polvo durante los procesos de carga y descarga.

Aspersión

- al rociar la caliza con agua con aditivos se consigue una aglomeración duradera de las partículas de polvo con la piedra calcárea. La aspersión se lleva a cabo directamente en las canteras para reducir la formación de polvo durante los procedimientos de trituración, clasificación, transporte y llenado realizados *in situ*;
- las sales minerales procedentes de yacimientos se procesan por medio de trituración y molturado directamente en las minas. Las partículas de sal más finas (con tamaños $< 0,2$ mm) se separan haciendo que atraviesen un tamiz o bien por clasificación mediante aire. Como resultado se obtiene un producto que a penas genera polvo durante la carga y el procesamiento.

La utilización de métodos preprimarios tiene sus limitaciones cuando influye en las propiedades de los productos solicitados por el cliente. Por ejemplo, existen procesos para reducir la tendencia del grano a formar polvo por medio de un tratamiento a base de aceite de colza o conservantes químicos (por ejemplo urea o ácido propiónico). Sin embargo, este tratamiento reduce las opciones de comercialización y empleo del producto, ya que la harina elaborada con grano tratado con aceite de colza no puede utilizarse ya en pastelería.

2. Los **métodos primarios** corresponden a todos los sistemas empleados para reducir las emisiones durante la manipulación; pueden dividirse en las siguientes categorías:

- **métodos primarios organizativos:** actuación por parte de los operadores;
- **métodos primarios técnicos:** técnicas que evitan la formación de polvo.

3. Los **métodos secundarios** son técnicas de reducción de las emisiones que limitan la distribución del polvo.

La Tabla 4.16 es una presentación general de los métodos y técnicas utilizados para reducir las emisiones durante la carga y la descarga así como una referencia al apartado en que se tratan, siempre que se haya aportado la información necesaria.

Cabe destacar que la elección de tipos de sistemas de manipulación y MCE para reducir las emisiones de polvo depende de las propiedades del producto. En el caso especial de los productos acabados, donde las especificaciones del cliente son cruciales, la elección del equipo de almacenamiento y de las MCE se basa en muchos factores como, por ejemplo, la resistencia del producto a la atrición, la capacidad de romperse, triturarse, fluir y aglomerarse, su estabilidad química y su sensibilidad a la humedad.

Bibliografía de referencia: [17, UBA, 2001, 175, TWG, 2003]

Tabla 4.16: Métodos y técnicas para reducir las emisiones de polvo generadas durante la carga y la descarga [17, UBA, 2001, 134, Corus, 1995] [91, Meyer y Eickelpasch, 1999]

Métodos y técnicas para reducir las emisiones de polvo		Apartado	
Primarios	Organizativos	Condiciones climáticas	4.4.3.1
		Medidas (a cargo del operador de la grúa) cuando se utiliza una cuchara de almeja: <ul style="list-style-type: none"> • reducir la altura de caída cuando se descarga el material • cerrar totalmente la cuchara o las garras tras haber recogido el material • dejar la cuchara en las tolvas el tiempo suficiente después de la descarga • detener el funcionamiento de la cuchara cuando sopla viento fuerte 	4.4.3.2
		Medidas (a cargo del operador) cuando se utiliza una cinta transportadora: <ul style="list-style-type: none"> • hacer funcionar la cinta transportadora a la velocidad adecuada • evitar cargar la cinta hasta los bordes 	4.4.3.3
		Medidas (a cargo del operador) cuando se utiliza una pala mecánica: <ul style="list-style-type: none"> • reducir la altura de caída cuando se descarga el material • elegir la posición correcta durante la descarga a un camión 	4.4.3.4
		Disposición y funcionamiento de los lugares de almacenamiento (a cargo del personal de explotación y de planificación) <ul style="list-style-type: none"> • reducir las distancias de transporte • ajustar la velocidad de los vehículos • utilizar carreteras de firme duro • reducir las superficies expuestas al viento 	4.4.3.5
	Técnicos	Optimizar las cucharas de almeja	4.4.5.1
		Utilizar transportadores cerrados (por ejemplo, cintas transportadoras de tubo, tornillos sin fin, etc.)	4.4.5.2
		Cinta transportadora sin poleas de apoyo	4.4.5.3
		Medidas primarias relativas a las cintas transportadoras convencionales	4.4.5.4
		Medidas primarias relativas a las rampas de transporte	4.4.5.5
	Minimizar la velocidad de bajada	4.4.5.6	
	Minimizar las alturas de caída libre (por ejemplo, tolvas con caídas en cascada)	4.4.5.7	
	Utilizar barreras contra la dispersión del polvo en los pozos de descarga y en las tolvas	4.4.5.8	
	Depósitos que limitan la emisión de polvo	4.4.5.9	
	Chasis de vehículos con extremidades redondeadas	4.4.5.10	

Secundarios	Pantallas para cintas transportadoras abiertas	4.4.6.1
	Envolver o cubrir las fuentes de emisión	4.4.6.2
	Colocar coberturas, fundas o tapones en los tubos de llenado	4.4.6.3
	Sistemas de extracción	4.4.6.4
	Sistemas de filtrado para cintas transportadoras neumáticas	4.4.6.5
	Pozos de descarga con equipos de aspiración, cubierta y barreras contra la emisión de polvo	4.4.6.6
	Tolvas de descarga optimizadas (en los puertos)	4.4.6.7
	Técnicas de aspersión de agua/cortinas de agua y de aspersión de agua a presión	4.4.6.8 4.4.6.9
	Limpiar las cintas transportadoras	4.4.6.10
	Equipar los camiones con aletas mecánicas/hidráulicas	4.4.6.11
	Limpiar las carreteras	4.4.6.12
	Limpiar los neumáticos de los vehículos	4.4.6.13

Nota: La línea divisoria entre métodos primarios y secundarios no siempre está clara; por ejemplo, una cortina de agua limita la distribución de las emisiones de polvo y constituye, al mismo tiempo, un método de aglomeración del polvo.

4.4.3. Métodos organizativos primarios para minimizar el polvo generado durante la manipulación

4.4.3.1. *Condiciones climáticas*

Descripción: Evitar la dispersión provocada por los procesos de carga y descarga al aire libre interrumpiendo el transporte del material en días ventosos, dependiendo de las condiciones del emplazamiento y de la dirección del viento. En los Países Bajos, por ejemplo, los procesos de transporte se suspenden si la velocidad del viento supera los parámetros siguientes (según la categoría de dispersabilidad):

- categorías S1 y S2 8 m/s (fuerza del viento 4; brisa moderada)
- categoría S3 14 m/s (fuerza del viento 6; brisa fuerte)
- categorías S4 y S5 20 m/s (fuerza del viento 8; viento duro).

Explicación de los niveles de dispersabilidad; véase también el anexo 8.4:

- S1: gran sensibilidad a la dispersión; no se puede humedecer
 S2: gran sensibilidad a la dispersión; se puede humedecer
 S3: sensibilidad a la dispersión moderada; no se puede humedecer
 S4: sensibilidad a la dispersión moderada; se puede humedecer
 S5: sin sensibilidad a la dispersión o sensibilidad muy baja.

Información operativa: Esta medida afecta al funcionamiento de la planta, ya que provoca la suspensión de operaciones cuando las condiciones climatológicas son adversas.

Aplicabilidad: Puede implantarse más fácilmente al formar las pilas que al cargar o descargar dispositivos de transporte. Sin embargo, si la formación de pilas forma parte de un proceso continuo, las dificultades son mayores.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: La suspensión de los procesos de transporte puede ser extremadamente costosa cuando los buques quedan bloqueados a causa de las penalizaciones por sobreestadía; lo mismo puede decirse de los camiones, trenes, personal desocupado, etc.

Bibliografía de referencia: [15, InfoMil, 2001, 175, TWG, 2003]

4.4.3.2. MEDIDAS CUANDO SE UTILIZA UNA CUCHARA DE ALMEJA

Descripción: Véase la Figura 4.22 de la página siguiente.

Además del diagrama anterior, la carga y descarga de materiales pertenecientes a los niveles de dispersabilidad S1, S2, S3 y posiblemente S4 se realizan con cucharas de almeja en buen estado y cubiertas por la parte superior. La cuchara sólo puede abrirse durante la descarga una vez ha descendido por debajo del borde de la tolva o, alternativamente, por debajo del borde de las pantallas de protección contra el viento.

Otras medidas importantes consisten en cerrar la cuchara/garras por completo una vez el material se ha recogido y dejar las garras dentro de la tolva durante un intervalo suficiente después de la descarga.

Aplicabilidad: De aplicación universal. Es posible que el uso cuidadoso de la cuchara de almeja requiera más tiempo.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Aspectos económicos: Es una medida de muy bajo coste.

Planta de referencia: Corus, Países Bajos.

Bibliografía de referencia: [17, UBA, 2001] [15, InfoMil, 2001]

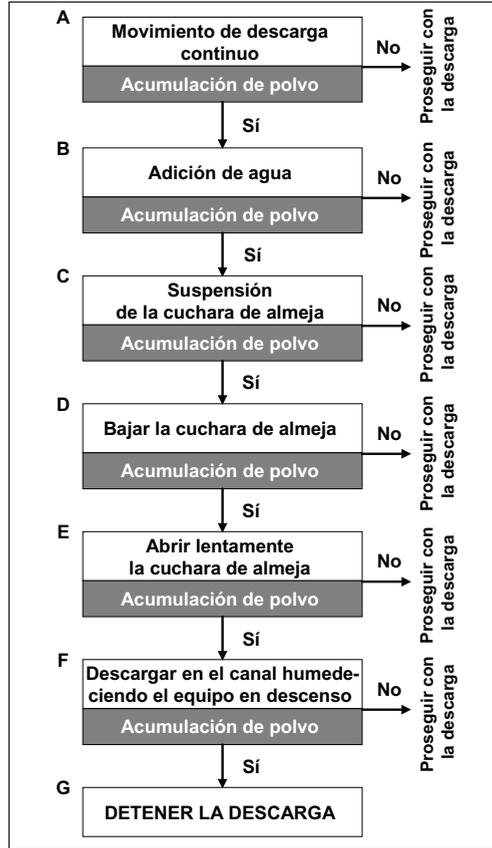


Figura 4.22: Diagrama de toma de decisiones para que los operadores de grúa eviten la acumulación de polvo [134, Corus, 1995]

4.4.3.3. MEDIDAS (A CARGO DEL OPERADOR) CUANDO SE UTILIZA UNA CINTA TRANSPORTADORA

No se ha aportado información.

4.4.3.4. MEDIDAS (A CARGO DEL OPERADOR) CUANDO SE UTILIZA UNA PALA MECÁNICA

Descripción: Reducir la altura de caída y elegir la posición correcta durante la descarga con una pala mecánica en un camión son factores importantes a la hora de evitar acumulaciones de polvo

Aplicabilidad: De aplicación universal. Es posible que el uso cuidadoso de la pala mecánica requiera más tiempo.

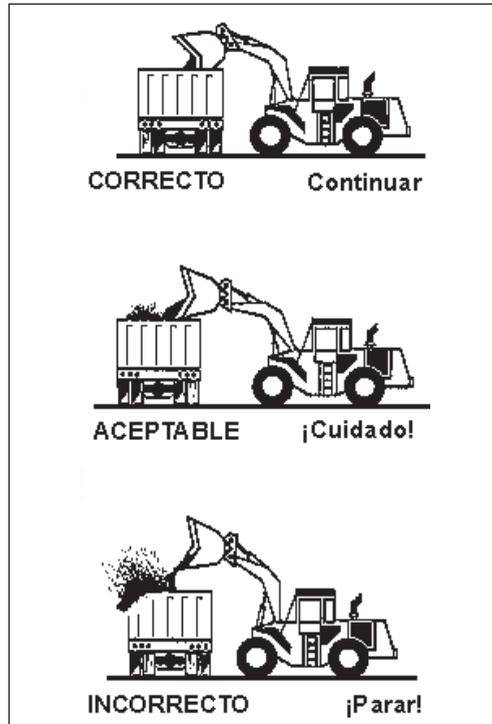


Figura 4.23: Cómo prevenir la acumulación de polvo al utilizar una pala mecánica [134, Corus, 1995]

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Aspectos económicos: Es una medida de muy bajo coste.

Planta de referencia: Corus, Países Bajos.

Bibliografía de referencia: [134, Corus, 1995]

4.4.3.5. DISPOSICIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LOS LUGARES DE ALMACENAMIENTO (A CARGO DEL PERSONAL DE EXPLOTACIÓN Y PLANIFICACIÓN)

4.4.3.5.1. *Reducir el transporte discontinuo y las distancias de transporte*

Descripción: A la hora de decidir el diseño de un emplazamiento donde se manipulan materiales pulverulentos una de las medidas importantes es lograr que las distancias de transporte sean lo más cortas posibles para minimizar los movimientos de tráfico en las instalaciones.

Además, las sustancias que no son dispersables por ser húmedas pueden contribuir a las emisiones de polvo cuando el material se disgrega al pasar por encima de él vehículos, que además provocan la formación de remolinos.

El transporte discontinuo (palas, camiones) produce, por regla general, más emisiones de polvo que el transporte continuo realizado, por ejemplo, a través de cintas transportadoras. La cintas pueden cubrirse con relativa facilidad, mientras que las medidas de reducción de las emisiones en camiones y palas normalmente son menos efectivas.

Aplicabilidad: Los diseños que buscan minimizar el número de movimientos de tráfico pueden implantarse en las plantas de nueva construcción, pero pueden ser difíciles de lograr en las ya existentes.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Aspectos económicos: Los modos de transporte continuo son aptos para nuevas plantas; cambiar de un modo discontinuo a uno continuo en unas instalaciones ya existentes puede resultar costoso.

Bibliografía de referencia: [15, InfoMil, 2001] [148, VDI-Verlag, 1994] [78, DCMR Milieudienst Rijnmond, 1995]

4.4.3.5.2. *Ajustar la velocidad de los vehículos*

Descripción: Para reducir la cantidad de polvo arremolinado, los vehículos tienen que conducirse a la velocidad a la que se camina. Para estimularlo pueden instalarse, por ejemplo, badenes limitadores de la velocidad.

Información operativa: Es más fácil de lograr con el personal que trabaja en la planta que con terceros.

Aplicabilidad: De aplicación universal.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: Ninguno.

Planta de referencia: Varias plantas de Duisburg, Alemania.

Bibliografía de referencia: [15, InfoMil, 2001, 52, Staatliches Umweltamt Duisburg, 2000]

4.4.3.5.3. *Carreteras de firme duro*

Descripción: Los problemas de recogida del polvo dispersado por vehículos que circulan por vías arenosas o de tierra puede resolverse con carreteras de firme duro, por ejemplo de hormigón o de asfalto. La ventaja de este tipo de carreteras radica en que pueden limpiarse fácilmente (véase el apartado 4.4.6.12). Podría resultar útil colocar bordillos en las carreteras para evitar que los vehículos rueden sobre superficies arenosas o, como alternativa, colocar matas de azobé en los arceles.

Otra de las ventajas de las carreteras de firme duro es que evitan la contaminación del suelo.

Aplicabilidad: Las carreteras con firme duro suelen utilizarse en lugares por donde circulan camiones y coches; sin embargo, cuando se utilizan vehículos dotados de pala o cuando las vías son sólo temporales normalmente no se recurre a una superficie dura.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Planta de referencia: Corus, Países Bajos, y varias plantas de Duisburg, Alemania

Bibliografía de referencia: [52, Staatliches Umweltamt Duisburg, 2000, 134, Corus, 1995, 148, VDI-Verlag, 1994] [15, InfoMil, 2001] [183, EIPPCB, 2004]

4.4.4. **Técnicas constructivas primarias para minimizar el polvo generado durante la carga y la descarga**

4.4.4.1. CARGA Y DESCARGA EN EDIFICIOS CERRADOS

Descripción: Los procesos de carga y descarga pueden realizarse en el interior de una edificación, por ejemplo un hangar. Para evitar que el polvo escape al exterior, el hangar puede equiparse con puertas o cortinas de apertura y cierre automáticos. Esta opción es aplicable a los procesos de carga y descarga de camiones, trenes y (pequeños) buques.

Aplicabilidad: Puede implantarse en instalaciones nuevas y ya existentes por igual, así como para cualquier tipo de material. Sin embargo, es posible que se utilice más habitualmente con materiales que a causa de la climatología podrían perder calidad, por ejemplo en la industria alimentaria.

Cuestiones de seguridad: Si no se dispone de sistemas de extracción o no se utilizan correctamente podrían producirse mezclas de polvo/aire explosivas.

Aspectos económicos: Alternativa de elevado coste.

Bibliografía de referencia: [78, DCMR Milieudienst Rijnmond, 1995]

4.4.5. Técnicas primarias para minimizar el polvo generado durante la manipulación

4.4.5.1. CUCHARAS DE ALMEJA OPTIMIZADAS

Descripción: Las principales características de las cucharas de almeja que evitan la generación de polvo son las siguientes:

- están cerradas por la parte superior para evitar la acción del viento;
- tienen una forma geométrica y una capacidad de carga óptima que evita sobrellenados;
- el volumen de la cuchara siempre debería ser superior al volumen propio de la curva de la cuchara (es decir, la curva que describen las mandíbulas de la cuchara al penetrar en el material);
- la superficie debería ser lisa para evitar que se adhiriera el material;
- la cuchara debe poder cerrarse en caso de funcionamiento permanente.

La estructura de cuchara con abertura en forma de tolva reúne todas las propiedades arriba descritas.

Beneficios ambientales obtenidos: La estructura cerrada reduce al mínimo la generación de emisiones de polvo; a pesar de todo, las emisiones de polvo y los escapes pueden causar todavía una pérdida de material considerable del orden del 2 al 5 %.

Aspectos económicos: Como guía aproximada, una cuchara de almeja con una capacidad de 13 m³ cuesta 83 000 DEM (unos 42 000 EUR). Los costes adicionales, por ejemplo la instalación de una grúa, deben también tenerse en cuenta.

Plantas de referencia: Las cucharas de almeja se utilizan en varios puertos marítimos y fluviales, por ejemplo en Neuss u Orsoy.

Bibliografía de referencia: [17, UBA, 2001]

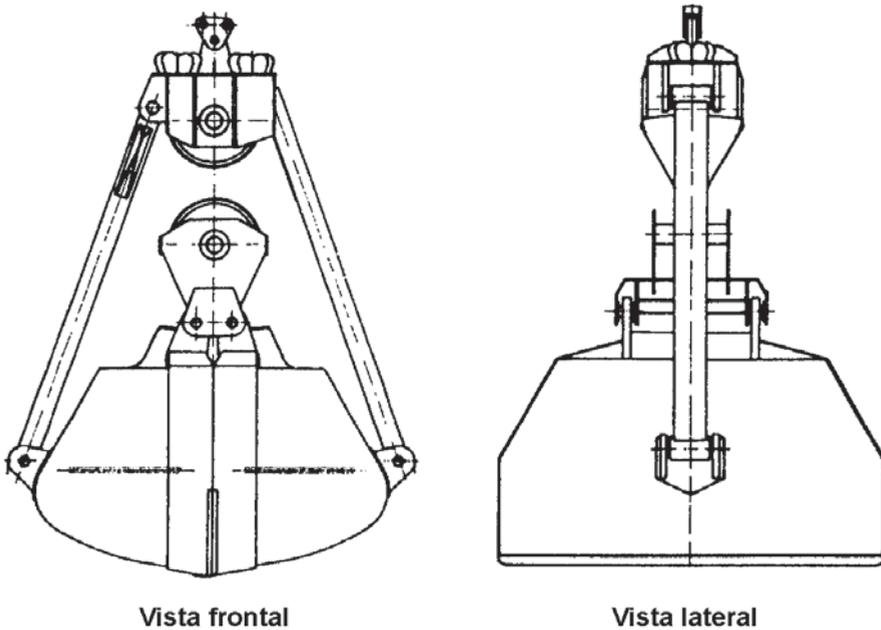


Figura 4.24: Cucharas cerradas con apertura en forma de tolva (vista frontal y lateral) [17, UBA, 2001] en alusión a MB Kröger Greifertechnik GmbH

4.4.5.2. TRANSPORTADORES CERRADOS

Descripción: Los siguientes transportadores cerrados se describen en el capítulo 3:

- transportadores neumáticos; véase el apartado 3.4.2.18,
- transportadores de cadena en cubeta; véase el apartado 3.4.2.16.1
- tornillos sin fin; véase el apartado 3.4.2.17.

Existe un tipo especial de cinta transportadora cerrada en el que la misma cinta o una segunda cinta bloquea el material, como se describe en el apartado 3.4.2.14.

- cintas transportadoras colgantes,
- cintas transportadoras de tubo,
- cintas transportadoras dobles,
- cintas transportadoras plegadas,
- cintas transportadoras de cremallera.

En la Tabla 4.17 se dan más detalles de estas cintas, a excepción de la de tipo cremallera.

Tabla 4.17: Comparación de las diferentes cintas transportadoras cerradas [78, DCMR Milieudienst Rijnmond, 1995]

	Colgantes	De tubo	Dobles	Plegadas
Desarrollada para una situación concreta (Véase la nota 1)	Sí	Sí	Sí	Sí
Desventajas	Véase la nota 2)	Longitud < 5000 m	Véase la nota 2)	Véase la nota 2)
Aplicabilidad	Se utiliza	Se utiliza a menudo	Se utiliza	No se utiliza a menudo
Capacidad	400 t/h	Hasta 3000 t/h	hasta 4000 t/h; teóricamente 15 000 t/h	En la práctica, 1500 t/h; teóricamente se desconoce
Materiales transportados	Piezas < 100 mm	Piezas no demasiado grandes	Piezas no demasiado grandes	Piezas no demasiado grandes

Nota 1): Los transportadores de este tipo se han desarrollado por los siguientes motivos:

- provocan menos derrames y polvo;
- la calidad del producto no se ve influida por la climatología;
- permiten inclinaciones pronunciadas a muy pronunciadas;
- permiten curvas muy cerradas (excepto en el caso de las cintas dobles).

Nota 2): Las cintas transportadoras de tubo y las colgantes permiten inclinaciones de 20 a 40 grados (hasta un máximo de 60 grados). Las de doble cinta y las plegadas toleran inclinaciones de hasta 90 grados. Con todo, ello depende siempre de las características del producto transportado. Todas las cintas transportadoras, a excepción de las dobles, admiten curvas, lo que permite prescindir de los puntos de transporte y, por tanto, de fuentes de emisión potenciales. Las curvas pueden ser más o menos cerradas dependiendo del tipo de cinta; en las de tubo el radio de la curva puede tener hasta varios centenares de metros, mientras que en las plegadas y las colgantes sólo se necesitan unos pocos metros (tan sólo 0,4 m).

Beneficios ambientales obtenidos: El punto de referencia para compararlas son las cintas convencionales donde el material (cereales) avanza encapsulado. Con las cintas transportadoras cerradas con el mismo número de puntos de transporte normalmente se logra una reducción de las emisiones del 80 – 90 %. Sólo con prescindir de dos de los puntos de transporte la eficacia estimada sería muy elevada, del 95 – 98 %.

Si la comparación se realiza con la misma referencia técnica, aunque en este caso la cinta se utilice para el transporte de carbón o mineral, con el mismo número de puntos de transporte, la reducción de las emisiones de polvo que puede lograrse se estima en el 95 – 98 %. Al prescindir de dos puntos de transporte la eficacia estimada sería muy elevada del 98 – 99 %.

Los puntos de transporte son una importante fuente de emisiones de polvo; la reducción de las emisiones que puede lograrse dependerá de la posibilidad de evitar estos puntos mediante la utilización de cintas transportadoras cerradas, que pueden tener curvas en su recorrido. Las emisiones de los puntos de transporte dependen del tipo de material transportado y del diseño del punto aunque, a modo de indicación, podría decirse que las emisiones de un punto de transporte simple y cerrado podrían ser de aproximadamente 0,3 – 2 gramos por tonelada en el caso del carbón y los minerales. Puede que este valor sea inferior si se transportan cereales.

Un estudio de eficacia energética realizado en una cinta transportadora terrestre convencional de 10 km en BHP Gregory/Crinum, Australia, ha demostrado que el ahorro energético puede ser significativo si se combina lo siguiente:

- un buen diseño de cinta transportadora, incluidas las poleas tensoras y el espacio entre éstas;
- una tolerancia de instalación ajustada y
- una cinta dotada de cubiertas de polea especiales de baja resistencia a la rodadura.

Aplicabilidad: Las cintas transportadoras de tubo se utilizan con mucha frecuencia. Las cintas dobles y colgantes se utilizan habitualmente y las plegadas son menos comunes.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Bibliografía de referencia: [78, DCMR Milieudienst Rijnmond, 1995] [17, UBA, 2001] [140, información del fabricante, 2001]

4.4.5.3. CINTAS TRANSPORTADORAS SIN POLEAS DE APOYO

Una de las principales fuentes de emisiones en las cintas transportadoras se da cuando la parte de retorno de la cinta entra en contacto con las poleas de apoyo. Prescindir de las poleas de apoyo puede evitar que se produzcan estas emisiones. Existen algunos sistemas que no utilizan poleas, por ejemplo:

- sobre colchón de aire (aerobelt);
- cintas transportadoras de baja fricción;
- cintas transportadoras con diabólos.

Una de las ventajas de las cintas que carecen de poleas de apoyo es que son más adecuadas a la hora de cerrarlas. El argumento a favor es que necesitan menos mantenimiento que las cintas transportadoras convencionales, de modo que la menor accesibilidad para realizar el mantenimiento queda compensada por la menor necesidad de mantenimiento.

4.4.5.3.1. *Cintas sobre colchón de aire*

Descripción: La cinta que transporta el material se desplaza por encima de una lámina con pequeños orificios por donde sale aire; de este modo se crea una capa de aire entre la lámina y la cinta de transporte.

Beneficios ambientales obtenidos: La reducción de las emisiones estimada, en comparación con una cinta de transporte convencional cerrada es del 60 – 90 %.

Información operativa: La longitud máxima de las cintas sobre colchón de aire es de 300 metros. La anchura varía entre 300 – 1800 mm. La capacidad es de aproximadamente 3400 m³ por hora.

Aplicabilidad: Es una técnica que se utiliza a menudo, sobre todo con productos muy pulverulentos que no pueden humedecerse, ya que este tipo de transportador puede cerrarse fácilmente. Permite el transporte de todo tipo de materiales.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Bibliografía de referencia: [78, DCMR Milieudienst Rijnmond, 1995]

4.4.5.3.2. *Cinta transportadora de baja fricción*

Descripción: En los transportadores de baja fricción, la cinta está compartimentada y se desplaza sobre una banda de baja resistencia; véase la Figura 4.25.

Beneficios ambientales obtenidos: La reducción de las emisiones estimada, en comparación con una cinta de transporte convencional cerrada es del 60 – 90 %.

Información operativa: En los transportadores de baja fricción, la cinta se desliza parcialmente sobre una placa o lámina, lo que aumenta la resistencia en comparación con los transportadores convencionales y hace que esta técnica sólo se utilice para distancias cortas y con una capacidad menor. La longitud máxima de estas cintas es de 300 metros. La anchura varía entre 300 – 1800 mm. La capacidad es de aproximadamente 3400 m³ por hora.

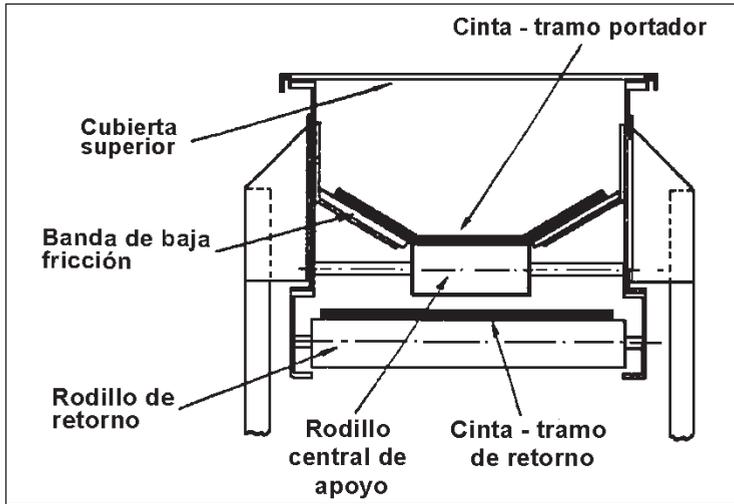


Figura 4.25: Cinta transportadora de baja fricción [78, DCMR Milieudienst Rijnmond, 1995]

Aplicabilidad: Es una técnica que se utiliza a menudo, sobre todo con productos muy pulverulentos que no pueden humedecerse, ya que este tipo de transportador puede cerrarse fácilmente. Permite el transporte de todo tipo de materiales.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Bibliografía de referencia: [78, DCMR Milieudienst Rijnmond, 1995]

4.4.5.3.3. *Cintas transportadoras con diábolos*

Descripción: En este tipo de transportador, la cinta adopta la forma de diábolo del rodillo; véase la Figura 4.26.

Beneficios ambientales obtenidos: La reducción de las emisiones estimada, en comparación con una cinta de transporte convencional cerrada es del 60 – 90 %

Información operativa: La velocidad superficial de los diábolos no coincide con la de la cinta en todo el recorrido a causa de la forma de diábolo, lo que puede provocar un desgaste acusado de la cinta. Para evitarlo puede aumentarse la tensión de la cinta para evitar que entre en contacto con el diábolo por la parte central. El desgaste aumenta cuando se incrementa la capacidad y la longitud de la cinta. La longitud máxima de estas cintas es de 300 metros. La anchura varía entre 300 – 1800 mm y la capacidad es de aproximadamente 3400 m³ por hora.

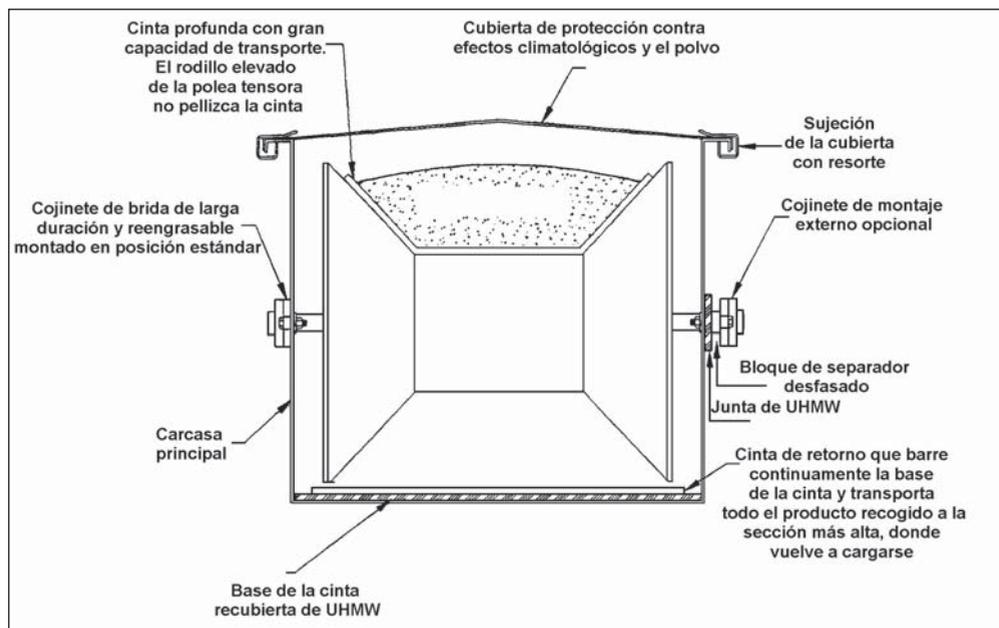


Figura 4.26: Cinta transportadora con diábolos [78, DCMR Milieudienst Rijnmond, 1995]

Aplicabilidad: Es una técnica que se utiliza a menudo, sobre todo con productos muy pulverulentos que no pueden humedecerse, ya que este tipo de transportador puede cerrarse fácilmente. Permite el transporte de todo tipo de materiales.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Bibliografía de referencia: [78, DCMR Milieudienst Rijnmond, 1995]

4.4.5.4. MEDIDAS PRIMARIAS PARA CINTAS TRANSPORTADORAS CONVENCIONALES

Descripción: Para evitar que se genere polvo en la parte superior de la cinta transportadora se utilizan las siguientes medidas:

- aumentar la tensión de la cinta;
- acercar las poleas de apoyo entre sí;
- colocar una placa o lámina por debajo de la cinta en el punto de carga;
- reducir la velocidad de la cinta;
- aumentar la anchura de la cinta;
- aumentar la concavidad de la cinta.

Para evitar que se genere polvo en la parte inferior de la cinta transportadora se aplican las siguientes medidas:

- tipo de cinta (evita que los materiales se aglomeren);
- aplicar un aditivo a la cinta para evitar que se formen aglomeraciones (por ejemplo una película de agua sobre la cinta cuando se transporta azúcar «crudo»).

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Bibliografía de referencia: [78, DCMR Milieudienst Rijnmond, 1995]

4.4.5.5. MEDIDAS PRIMARIAS PARA LAS RAMPAS DE TRANSPORTE (POR EJEMPLO DE CINTAS TRANSPORTADORAS)

Descripción: El diseño de las rampas de transporte de las cintas transportadoras tiene una importancia capital para lograr que:

- el transporte no genere ningún vertido;
- la carga de la rampa de transporte se transfiera a la parte central de la cinta receptora, sin desviaciones, de modo que la alineación del transportador receptor no se vea alterada;
- la rampa de transporte logre un flujo de material hacia la cinta receptora a (aproximadamente) la misma velocidad de ésta;
- los problemas ocasionados por limitaciones como el exceso o la falta de altura de caída, la anchura y la altura existentes en la cabeza de la cinta transportadora, la anchura y la longitud de la rampa, etc., se gestionen de forma eficaz;
- la degradación del material provocada por el transporte se minimice para reducir al mínimo la generación de polvo.

Estos objetivos pueden lograrse calculando con precisión la trayectoria del material más allá del transportador de descarga y conduciendo el material a través de la cinta de transporte a ángulos de incidencia bajos con el fin de crear un «flujo libre» de material a lo largo del transporte. Existe un proceso de modelado con el que se pueden generar diseños detallados.

Una empresa de Estados Unidos ha adaptado los principios de las rampas de transporte de carga suave (a partir de la tecnología de «flujo libre» antes mencionada) para desarrollar estaciones de transporte que controlen/contengan por completo la totalidad del polvo generado durante numerosos procesos propios de las rampas de transporte. Además, se ha conseguido sin tener que recurrir a filtros de mangas o dispositivos parecidos, por lo que se trata de un sistema de control del polvo «pasivo». Es una tecnología patentada que dirige el flujo de aire a través de una serie de cámaras generando un amortiguamiento de forma que el aire aglomera el polvo y lo devuelve al flujo principal de material.

Información operativa: La clave del proceso es el diseño paramétrico; así, el proceso entero, en la mayoría de aplicaciones de transporte y una vez detallados los 20 - 25 parámetros principales por parte del cliente (y en caso de que exista un sistema de transporte, también la información estructural del sistema) puede durar unas 6 a 8 horas.

Aplicabilidad: El proceso de cálculo puede emplearse para transportadores ya existentes que necesiten una actualización.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Efectos cruzados: Ninguno.

Aspectos económicos: Sin costes adicionales respecto a los diseños de rampa de transporte convencionales.

Bibliografía de referencia: [142, Martin Engineering, 2001]

4.4.5.6. MINIMIZAR LA VELOCIDAD DE DESCENSO DEL MATERIAL CARGADO

Descripción: Cuando la velocidad de descenso del material es demasiado alta, las partículas se separan y se liberan pequeñas partículas de polvo. Además, el aire arrastrado hacia la parte inferior junto con el material que cae transporta polvo hacia la salida del descargador. El impacto del material a granel puede provocar emisiones de polvo adicionales, que dependerán de la longitud de caída.

La velocidad de descenso del material puede reducirse recurriendo a:

- la instalación de deflectores en el interior de los tubos largos (por ejemplo tuberías de llenado de gran longitud);
- la utilización de una cabeza de carga al final del tubo para regular el volumen de salida;
- el empleo de cascadas (por ejemplo un tubo o una tolva con caída en cascada);
- el establecimiento de un ángulo mínimo de pendiente (por ejemplo con las rampas).

Las cascadas tienen la ventaja de combinar alturas de caída escasas con velocidades decrecientes, ya que el material se desliza y cae alternativamente (véase la Figura 3.38).

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Efectos cruzados: Ninguno.

Bibliografía de referencia: [17, UBA, 2001]

4.4.5.7. MINIMIZACIÓN DE LAS ALTURAS DE CAÍDA LIBRE

Descripción: Para minimizar las emisiones de polvo generadas por los camiones, los trenes o los dispositivos de transporte de la carga o bien al formar montículos, la salida del descargador (por ejemplo un tubo de llenado) debería llegar hasta la parte inferior del espacio de carga o hasta el material ya apilado. El sistema más preciso es el ajuste automático de la altura.

Aplicabilidad: Las tolvas (véase el apartado 3.4.2.3.), tuberías de llenado (véase el apartado 3.4.2.9), conductos de llenado (véase el apartado 3.4.2.10) y tubos en cascada (véase el apartado 3.4.2.11) pueden tener alturas de caída muy bajas si se utilizan adecuadamente.

Si se trata de sustancias que pertenecen a la categoría de dispersabilidad S5, la altura de caída no es un aspecto tan crítico.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Efectos cruzados: Ninguno.

Bibliografía de referencia: [15, InfoMil, 2001, 133, OSPAR, 1998]

4.4.5.8. POZOS DE DESCARGA DOTADOS DE BARRERAS DE POLVO

Descripción: Véase el apartado 3.4.2.8 y la Figura 3.35, donde se describe y muestra, respectivamente, un pozo de descarga dotado de barrera de polvo. En el apartado 4.4.6.6. se describe un pozo de descarga equipado de barreras de polvo, equipo de aspiración y carcasa (parcial) en la zona de recepción.

Información operativa: Conviene que tener en cuenta que las barreras de polvo reducen la capacidad de flujo, lo que puede provocar emisiones de polvo si la capacidad de flujo es menor a la capacidad de descarga del camión o vagón.

Aplicabilidad: Los pozos de descarga se desarrollaron para la descarga de grano, aunque, en principio, pueden utilizarse con cualquier material a granel que fluya libremente.

Bibliografía de referencia: [17, UBA, 2001]

4.4.5.9. DEPÓSITOS DE REDUCCIÓN DEL POLVO

Descripción: En la cita [91, Meyer y Eickelpasch, 1999], las investigaciones demuestran que el diseño del depósito es un factor importante para las emisiones de

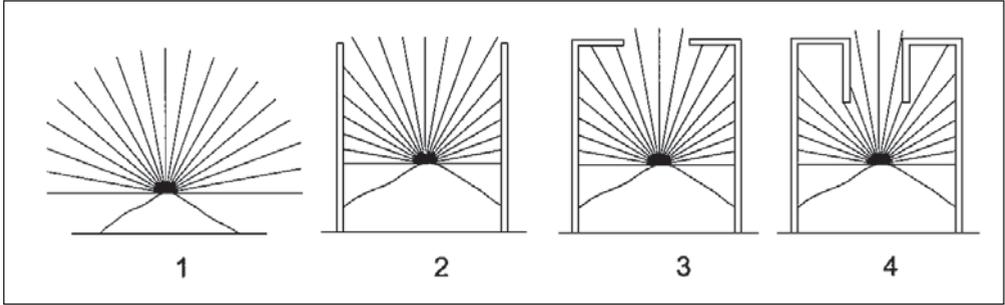


Figura 4.27: Emisiones de polvo generadas por depósitos de distinta estructura [91, Meyer y Eickelpasch, 1999]

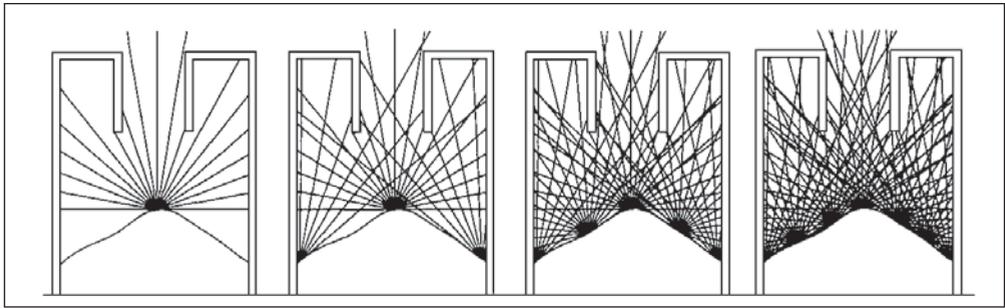


Figura 4.28: Emisiones de polvo detalladas generadas por el depósito número 4 [91, Meyer y Eickelpasch, 1999]

polvo generadas durante la descarga de materiales mediante cuchara de almeja a un depósito. Véase la Figura 4.27, donde se muestran y se comparan distintas estructuras. Los depósitos número 3 y 4 son los que tienen los niveles de emisiones más bajos.

Si se comparan los depósitos 3 y 4 cuidadosamente (para ver cuál tiene más puntos de emisión), se observará que el número 4, equipado con una abertura reducida más sofisticada, es el que presenta mayor reducción de las emisiones. Véase la Figura 4.28, donde se muestran en detalle las emisiones del depósito 4 a partir de 1, 3, 5 y 7 puntos, y la Tabla 4.18, donde se recogen los resultados de los depósitos 3 y 4.

Tabla 4.18: Reducción de las emisiones en los depósitos número 3 y 4

	Número de puntos de emisión analizados			
	1	3	5	7
Reducción (%) en el depósito 3	84	86	85	85
Reducción (%) en el depósito 4	84	92	91	90

Información operativa: No se dispone de información práctica.

Aplicabilidad: No se dispone de información práctica.

Bibliografía de referencia: [91, Meyer and Eickelpasch, 1999]

4.4.5.10. CHASIS DE VEHÍCULOS CON EXTREMIDADES REDONDEADAS

Descripción: El chasis de los camiones de transporte de materiales sólidos a granel puede equiparse con extremidades redondeadas para que los materiales no se acumulen en ellas.

Aplicabilidad: Si se trata de vehículos propiedad de la empresa la técnica es factible; si los vehículos pertenecen a terceros la adaptación será más difícil de realizar.

Bibliografía de referencia: [134, Corus, 1995]

4.4.6. Técnicas secundarias para minimizar el polvo generado durante la manipulación

Aparte de las técnicas de manipulación primarias que generan menos polvo (los métodos primarios), existen otras secundarias para reducir las emisiones, como por ejemplo:

- cubrir con una carcasa la fuente de polvo, posiblemente en combinación con un sistema de aspiración;
- uso de separadores de polvo;
- uso de instalaciones de aspersión.

En los sistemas transportadores abiertos, la colocación de pantallas o tejados es una posible alternativa. En el transporte de productos pulverulentos, una de las medidas secundarias para prevenir las emisiones consiste en cubrir la carga.

En los apartados que siguen se describen con más detalle estas medidas de control de las emisiones.

Bibliografía de referencia: [17, UBA, 2001] [15, InfoMil, 2001] [52, Staatliches Umweltamt Duisburg, 2000, 134, Corus, 1995]

4.4.6.1. PANTALLAS PARA CINTAS TRANSPORTADORAS ABIERTAS

Descripción: Los sistemas de transporte abiertos pueden protegerse del ataque del viento mediante:

- pantallas longitudinales
- pantallas transversales.

Además, los extremos de entrada y descarga del transportador pueden dotarse de barreras en forma de pantallas de reducción del viento (o aspersores).

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Bibliografía de referencia: [15, InfoMil, 2001]

4.4.6.2. CONFINAR O CUBRIR LAS FUENTES DE EMISIÓN

Descripción: Los puntos de transporte, tolvas, elevadores de cangilones y otras fuentes de polvo potenciales se confinan para evitar la dispersión del polvo y/o para proteger el material de las condiciones meteorológicas. La construcción de una carcasa normalmente es una condición previa en los sistemas de aspiración de aire. Existen dos tipos de carcasas: las cerradas y las semiabiertas, donde la fuente de emisiones queda libre por uno de los lados. El tipo de carcasa y su calidad determinan la correcta limitación de la formación de polvo y afectan a la eficacia de las unidades de extracción de polvo.

También es posible cubrir (total o parcialmente) la totalidad del recorrido de la cinta de transporte con coberturas semicirculares fabricadas con láminas de metal o plástico.

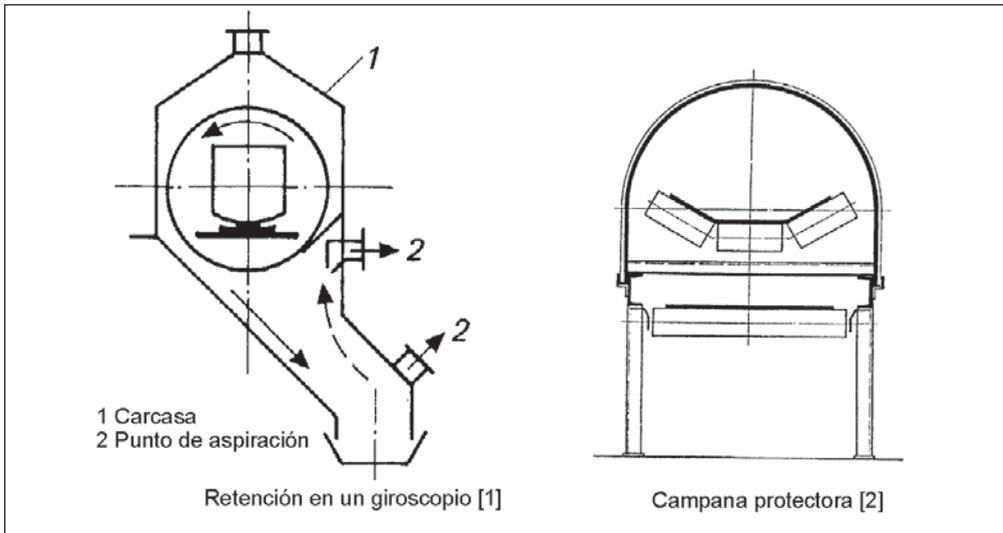


Figura 4.29: Tipo de estructuras de las carcasas [17, UBA, 2001] con referencia a VDI 3929 y VDI 3606 (borrador)

Aplicabilidad: En ocasiones no se utilizan coberturas porque impiden observar el flujo másico. El diseño debe tener en cuenta aspectos como la altura de caída, la anchura de la cinta o su velocidad.

Bibliografía de referencia: [17, UBA, 2001]

4.4.6.3. COLOCAR COBERTURAS, FUNDAS O TAPONES EN LOS TUBOS DE LLENADO

Descripción: En el apartado 4.4.5.6.: Minimizar la velocidad de descenso del material cargado, se analizan las técnicas primarias para reducir al mínimo las emisiones de polvo generadas por, entre otros, los tubos de llenado. Además de ellas, pueden acoplarse fundas o tapones al extremo del tubo para minimizar la distribución del polvo.

Para la carga cerrada de material en camiones o contenedores individuales se coloca un tapón dotado de alarma en el extremo el tubo de modo que no se produzcan emisiones de polvo.

Bibliografía de referencia: [17, UBA, 2001]

4.4.6.4. SISTEMAS DE EXTRACCIÓN

Descripción: El empleo de sistemas de extracción es una práctica habitual, ya se trate de una planta de extracción de polvo centralizada o de varias unidades individuales. En cualquier caso, lo importante es ajustar el sistema de extracción de manera que no entre material en el flujo de aire; así pues, los extractores deberían instalarse en las proximidades de la fuente de polvo, pero no directamente sobre ella. Las velocidades de aspiración de 1 a 2 m/s normalmente son suficientes. Si el flujo de polvo/aire contiene demasiadas partículas puede instalarse un separador centrífugo.

Normalmente se utilizan separadores tipo filtro, como los filtros de tela, para separar el polvo del flujo de aire. Las ventajas de este sistema son las siguientes:

- aplicable a numerosos entornos;
- gran capacidad de separación;
- elevada disponibilidad;
- elemento filtrante de larga duración;
- estructura sencilla;
- coste de inversión y explotación bajo.

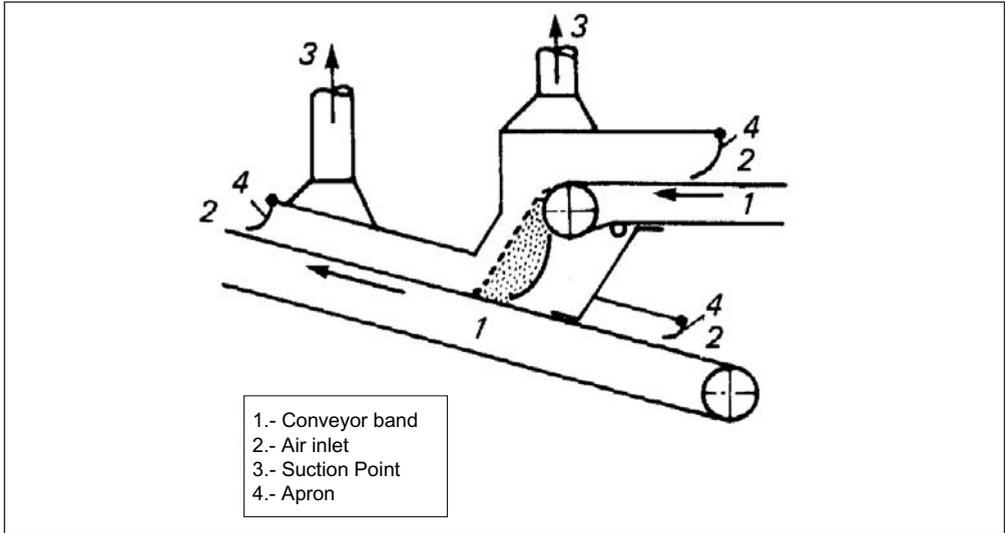


Figura 4.30: Cobertura y extracción en un punto de transporte de la cinta [17, UBA, 2001] con referencia a VDI 3929

Existen distintos tipos de elementos filtrantes, por ejemplo tubulares, de bolsas o de cartuchos. Los distintos procesos de limpieza son: por sacudida mecánica, por aire inverso o por chorro de aire pulsante.

Aplicabilidad: Las unidades individuales se utilizan a menudo cuando la distancia entre las fuentes de polvo son demasiado grandes o cuando el polvo está formado por material abrasivo o explosivo.

Aspectos económicos: Las plantas de extracción de polvo centralizadas resultan, por lo general, más económicas que habilitar varias unidades individuales por lo que respecta a los costes de inversión y de mantenimiento y explotación. Los costes de inversión de una planta de extracción de polvo central oscilan entre 60 000 y 400 000 DEM, (precios correspondientes al año 2000; aproximadamente 30 000 – 200 000 EUR).

Bibliografía de referencia: [17, UBA, 2001]

4.4.6.5. FILTROS DE LÁMINAS PARA TRANSPORTADORES MECÁNICOS

Descripción: Los sistemas de filtración para transportadores mecánicos tienen que funcionar en entornos difíciles. Normalmente están conectados directamente al sistema de transporte y, por lo tanto, deben funcionar a una subpresión de hasta 0,5 bar. El caudal de aire puede ser de hasta 700 m³/h, dependiendo del diseño del sistema y del tipo de material transportado. Los filtros de láminas sinterizadas son adecuados para estos casos.

Beneficios ambientales obtenidos: El nivel de emisiones que puede alcanzarse es de $< 1 \text{ mg/Nm}^3$.

Aplicabilidad: Este tipo de filtro se utiliza habitualmente.

Cuestiones de seguridad: Los filtros de láminas sinterizadas están disponibles en versiones antiestáticas.

Efectos cruzados: El filtro es lavable y puede reciclarse y regenerarse. Con todo, en técnicas de final de línea el consumo energético es inevitable.

Bibliografía de referencia: [146, información del fabricante, 2001] [147, EIPPCB, 2002]

4.4.6.6. POZOS DE DESCARGA CON EQUIPOS DE ASPIRACIÓN, CUBIERTA Y BARRERAS CONTRA LA EMISIÓN DE POLVO

Descripción: Los pozos de descarga pueden dotarse de las llamadas barreras de polvo. Se trata de válvulas o láminas que se abren cuando penetra el material. El polvo generado queda retenido por el material posterior o, si se detiene el flujo másico, por el cierre de las barreras de polvo. Los pozos de descarga también pueden equiparse de un sistema de aspiración. Aparte de las barreras contra la emisión de polvo y sistemas de aspiración, también es posible cubrir el área de recepción. Otra posibilidad consistiría en cubrir el vehículo y la zona del pozo mediante un sistema de cortina portátil. En ocasiones los pozos de descarga sólo cuentan con equipo de aspiración, lo que representa una desventaja desde el punto de vista del consumo de energía y la eficacia en la reducción de las emisiones de polvo.

Beneficios ambientales obtenidos: La combinación de un sistema de aspiración y una barrera contra el polvo tiene la ventaja de que la eficacia de aspiración necesaria es considerablemente menor cuando se utilizan barreras contra el polvo que cuando no; se tienen datos de una reducción del 60 %.

En los siguientes párrafos se analizan dos combinaciones posibles de medidas de reducción del polvo utilizadas en la actualidad y se compara su eficacia así como los aspectos relativos a la seguridad y la economía.

Combinación 1: aspiración del pozo de descarga, instalación de barreras contra el polvo y confinamiento de la totalidad del área de recepción: el resultado es una prevención casi absoluta de las emisiones de polvo difusas.

Combinación 2: aspiración del pozo de descarga, instalación de barreras contra el polvo y cierre de la totalidad del área de recepción por medio de un sistema de cortina portátil: no se observa visualmente que escape polvo.

Información operativa: Puede ser complicado, en el caso del equipo de aspiración, ajustar la capacidad de succión con precisión para evitar el riesgo de aspirar también el producto.

Un posible problema a la hora de instalar barreras de polvo consistiría en la reducción de la capacidad de flujo, que podría provocar emisiones de polvo de ser más pequeña que la capacidad de descarga del camión o vagón.

En la práctica, los pozos de descarga cerrados o cubiertos no son muy eficaces debido a que las puertas no se mantienen cerradas.

Cuestiones de seguridad: La desventaja de los pozos de descarga cerrados es que el vehículo (una fuente de ignición) permanece dentro de la zona recubierta, donde puede que llegue a formarse una mezcla explosiva de polvo/aire, si bien sólo en el caso de la combinación 1.

Efectos cruzados: Los sistemas de aspiración generan ruido y tienen un consumo de energía elevado.

Aspectos económicos: Ejemplo 1: Un pozo de descarga nuevo con capacidad para 7500 kg, dotado de confinamiento fijo y sistema de aspiración, pero sin barreras contra la emisión de polvo, requirió una inversión de 450 000 DEM (aproximadamente 225 000 EUR; año de referencia: 2000).

Ejemplo 2: La remodelación de un punto de recepción de cereal existente, con una capacidad comparable a la del ejemplo 1, para dotarlo de barreras de polvo, sistema de aspiración y una cubierta portátil supuso una inversión de 200 000 DEM (unos 100 000 EUR; año de referencia: 2000).

El menor consumo energético de los pozos de descarga con barrera de polvo es una ventaja económica.

Plantas de referencia:

- combinación 1: varias plantas en Alemania;
- combinación 2: Raiffeisen Bezugsverein e. G., Süderbrarup; ATR Landhandel, Leezen (Alemania). (Esta combinación no está permitida en algunos länder alemanes).

Bibliografía de referencia: [17, UBA, 2001]

4.4.6.7. TOLVAS DE DESCARGA OPTIMIZADA (EN LOS PUERTOS)

Descripción: Las siguientes características, o una combinación de ellas, son relevantes para prevenir la generación de polvo en las tolvas:

- tolvas de succión; la mezcla de polvo/aire se aspira a través de un filtro de polvo;
- tolvas cerradas; tolvas equipadas con paredes elevadas por los siguientes motivos:
 - o las paredes evitan los problemas provocados por el viento;
 - o la distribución del polvo se limita gracias a la pared de la tolva y la cuchara de almeja (cuando la cuchara permanece el tiempo suficiente dentro de la zona protegida con paredes);
 - o cualquier sistema de aspiración instalado será más eficaz (se requiere una capacidad de succión un 40 % menor que en comparación con otras tolvas);
- tolvas equipadas con técnicas primarias como, por ejemplo, deflectores o cierres tipo rejilla para mantener alejadas las mezclas de polvo-aire; estas instalaciones requieren que el material a granel tenga una fluidez elevada.

Información operativa: Las tolvas con paredes laterales elevadas obstaculizan la visibilidad del operador de la grúa. Además, la reducción de polvo que proporcionan las paredes elevadas depende, en realidad, de la técnica del operador de la grúa.

Aspectos económicos: Ejemplo de inversión de 90 000 DEM (aproximadamente 46 000 EUR) realizada en una tolva de silo de las siguientes características:

- ángulo de pendiente de la tolva: 55°
- puerta de descarga de 400 mm
- techo cilíndrico de 3 m
- diámetro de 5 m
- válvulas antipolvo (como barreras de polvo) dotadas de aspiración (7500 m³/h)
- filtro antiestático
- equipo de control.

Plantas de referencia: En el puerto de Neuss, Norddeutsche Affinerie, Hamburgo, y en el puerto de Hamburgo se emplean cierres tipo persiana con sistema de aspiración. Este mismo sistema pero sin aspiración se utiliza en Raiffeisen Hauptgenossenschaft Nord, Uelzen (sólo para la manipulación de fertilizantes).

Bibliografía de referencia: [17, UBA, 2001]

4.4.6.8. TÉCNICAS DE ASPERSIÓN DE AGUA/CORTINAS DE AGUA

Descripción: Rociar los materiales a granel mediante un sistema de aspersión es una técnica de eficacia demostrada con la práctica que evita la formación de polvo durante los procesos de carga y descarga. El rociado puede llevarse a cabo en una instalación permanente o por medio de contenedores portátiles (por ejemplo cisternas).

Las cortinas de agua se utilizan, por ejemplo, para mantener el polvo en el interior de la tolva cuando las cucharas de almeja se abren por encima de la cortina. Otro ejemplo sería llevar a cabo el volcado en pilas de almacenamiento a través de tubos de descarga equipados con sistemas de supresión húmeda.

Se ha investigado la producción de gotas más finas para aglomerar las partículas de polvo más pequeñas. Para ello se han desarrollado boquillas especiales que pueden funcionar con aire comprimido y también el uso de aditivos.

Véase el apartado 4.3.6.1: Aspersión mediante agua con o sin aditivos y el apartado 4.4.6.9: Aspersión de agua a presión, donde se describen técnicas aplicables a los procesos de almacenamiento y carga y descarga al aire libre.

Beneficios ambientales obtenidos: Cuando se rocía únicamente con agua, la eficacia estimada es del 80 – 98 %.

Aplicabilidad: La aspersión con agua es una técnica sencilla, pero su empleo se limita a materiales a granel no sensibles a la humedad. La aspersión resulta especialmente apropiada para plantas existentes en las que no haya suficiente espacio para la instalación de equipos de extracción y se disponga de recursos hídricos.

Efectos cruzados: El consumo de agua es relativamente elevado y el material puede quedar demasiado húmedo para manipularlo. En ocasiones el material debe secarse posteriormente, lo que podría aumentar el consumo de energía. Las aguas residuales recogidas quizá deban tratarse.

Aspectos económicos: Para dar una idea general de los costes, las plantas de rociado de agua requieren (dependiendo del número de puntos de transporte) una inversión del orden de 10 000 a 15 000 DEM (año de referencia: 2000; aproximadamente 5000 a 7500 EUR).

Planta de referencia: Weser Engineering GmbH, Alemania.

Bibliografía de referencia: [17, UBA, 2001] [78, DCMR Milieudienst Rijnmond, 1995] [133, OSPAR, 1998] [74, Corus, 2002]

4.4.6.9. ASPERSIÓN DE AGUA A PRESIÓN

Descripción: Consiste en aplicar aire a una presión constante de 2 bar y agua a una presión constante de entre 0,5 y 1,5 bar para generar una neblina de agua fina. El usuario puede elegir entre una neblina con forma de cono o una con forma de abanico. El tamaño de las gotas de agua rociadas es de entre 1 y 50 μm (mayoritariamente de entre 1 y 10 μm), dependiendo del tamaño de la boquilla y de

la presión del aire y del agua. Existen máquinas de distintos niveles de consumo, por ejemplo de 10 l/h, 25 l/h y 55 l/h. En la práctica se necesita 1 litro por tonelada de material tratado.

El empleo de esta técnica requiere cubrir la zona por completo para garantizar una reducción óptima del nivel de polvo. Si sólo se realiza un confinamiento lateral, la eficacia se reduce en un 50 %. El tamaño del confinamiento normalmente es de 600 mm de altura y 2500 a 4000 mm de longitud. Se calcula un espacio de 0,5 a 1 m³ por boquilla.

La técnica de rociar el material con una neblina de agua fina evita que se humedezca en exceso. No se necesitan aditivos ni anticongelante. Las desventajas son que debe cubrirse todo y utilizarse un compresor.

Aplicabilidad: La aspersión de agua a presión, un método para impedir la formación de polvo, puede utilizarse con pilas de almacenamiento, para la carga y descarga de pilas de almacenamiento y vagones, la carga de barcos con tolvas telescópicas y la carga de camiones desde silos.

Efectos cruzados: Se necesita agua y energía, y el compresor genera ruido.

Aspectos económicos: En comparación con las medidas de reducción del polvo convencional la inversión es más baja, en especial si existen tomas de agua, aire y aire comprimido. Los costes de las boquillas oscilan entre 1500 y 4000 DEM (unos 760 – 2000 EUR), controles y tuberías incluidos, y 800 – 900 DEM (entre 400 y 460 EUR) sin controles ni tuberías. Los costes de inversión de todo el equipo necesario rondan los 20 000 DEM (aproximadamente 10 000 EUR).

Plantas de referencia: Central eléctrica de Mannheim, trabajos de minería en Braunschweigische, central eléctrica de AG de Offleben, central eléctrica de lignito VEAG Brown de Jänschwalde, HKW Pforzheim, suministro energético de Nordthüringen – HKW Erfurt, suministro energético de Schwaben – Heilbronn.

Bibliografía de referencia: [17, UBA, 2001]

4.4.6.10. LIMPIEZA DE LAS CINTAS TRANSPORTADORAS

Descripción: Para evitar que se generen emisiones de polvo en las cintas transportadoras se utilizan las siguientes técnicas de limpieza:

- raspado, en ocasiones con un elevador rotativo que recoge el material raspado (véase la Figura 4.31)
- lavado con agua

- aire a presión
- golpeo o vibración
- aspiración por debajo de la cinta
- dar la vuelta a la cinta en el viaje de retorno
- bandejas autolimpiables situadas debajo de la cinta.

El elevador rotativo se instala en los puntos de la cinta de donde cae gran cantidad de material. Es un elevador de rotación lenta que recoge el material y lo devuelve al transportador. Esta técnica ha sido desarrollada principalmente para cintas transportadoras ya existentes con frecuente caída de material.

En la mina Martha Hill Mine, situada en la isla Norte de Nueva Zelanda, los minerales y los desechos se transportan conjuntamente en cintas transportadoras; ambos forman una mezcla de arcillas finas con ceniza volcánica y roca dura. Las arcillas tienen un contenido de humedad del 41 % y son extremadamente pegajosas. Para limpiar la cinta se ha instalado un sistema de limpieza complejo formado por un raspador de cinta primario y uno secundario en la polea motriz, un par de rociadores de agua en abanico a presión ubicados ligeramente por detrás de la polea motriz y una serie de rodillos ideados para retirar los últimos restos de mezcla de agua y residuos de la cinta. El suministro de agua basta para lavar cualquier material adherido; el agua del sistema se recoge en balsas donde los sólidos se decantan y se procede al reciclaje del agua.

Beneficios ambientales obtenidos: La eficacia estimada es del 20 – 40 %, aunque dependerá en buena medida del material y del número de elevadores.

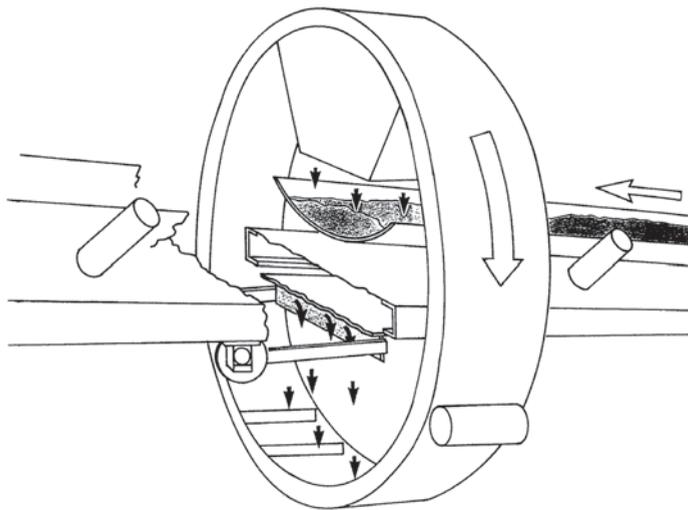


Figura 4.31: Elevador rotativo que recoge el material que cae de la cinta transportadora [78, DCMR Milieudienst Rijnmond, 1995]

Información operativa: La experiencia en Corus con algunas de estas técnicas no ha sido muy positiva porque no se consideran muy efectivas. Los raspadores de cinta situados en el tambor de cabeza están sometidos a desgaste y requieren mantenimiento frecuente. Las instalaciones de giro y lavado de la cinta sólo pueden utilizarse de forma limitada y los equipos de lavado de la cinta también requieren mantenimiento frecuente.

La puesta en servicio del equipo de transporte en Martha Hill Mine requirió varias revisiones en detalle, básicamente a consecuencia de tener que manipular material residual pegajoso, que provocaba problemas de bloqueo en las salidas. Tras una serie de modificaciones menores, el funcionamiento del sistema logró el rendimiento esperado. Sin embargo, no se dispone de información del cliente que confirme el correcto nivel de funcionamiento y rendimiento del equipo.

Aplicabilidad: La combinación de agua a presión, raspado y giro automático de las cintas se utiliza en plantas donde se transporta mineral.

El elevador rotativo no resulta adecuado para materiales muy pulverulentos.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Plantas de referencia: Corus y Ertsoverslagbedrijf Europort c.v. (una empresa de trasbordo de minerales), Países Bajos.

Bibliografía de referencia: [78, DCMR Milieudienst Rijnmond, 1995, 134, Corus, 1995, 141, información del fabricante, 2001]

4.4.6.11. EQUIPAR LOS CAMIONES CON ALETAS MECÁNICAS/HIDRÁULICAS

Descripción: Los camiones que transportan productos pulverulentos están equipados con aletas mecánicas/hidráulicas que cubren la carga.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Planta de referencia: Corus, Países Bajos.

Bibliografía de referencia: [52, Staatliches Umweltamt Duisburg, 2000, 134, Corus, 1995]

4.4.6.12. LIMPIAR LAS CARRETERAS

Descripción: Las carreteras de firme duro de, por ejemplo, hormigón o asfalto pueden limpiarse para evitar que los vehículos arrastren el polvo por medio de distintos sistemas barredores/regadores, por ejemplo:

- Técnica 1. camiones regadores con sistema rociador, cepillo giratorio y boquilla de succión de 0,5 m;
- Técnica 2. camiones barredores con cepillo giratorio y succión cerrada mediante una unidad de boquilla de 0,5 m;
- Técnica 3. camiones barredores equipados con cepillo giratorio, succión cerrada a alta velocidad, una unidad de boquilla de 2,4 m y un equipo de secado;
- Técnica 4. camiones regadores equipados con cepillo giratorio, agua a presión de 120 bar, succión de alta velocidad y una unidad de boquilla de 2,4 m.

Beneficios ambientales obtenidos: Todas las técnicas se han ensayado en Corus, Países Bajos (empresa productora de acero); la técnica 1 dio resultados muy pobres, ya que la cantidad de polvo sólo se redujo en un 12 %. La técnica 2 mostró un mejor rendimiento y redujo la cantidad de polvo en un 38 %. La técnica 3 dio excelentes resultados al reducir el nivel de polvo en un 93 %, mientras que los de la técnica 4 fueron aún mejores, con un nivel de reducción del 98 %.

Tabla 4.19: Eficacia de distintos sistemas barredores/regadores [134, Corus, 1995]

Número de técnica	1	2	3	4
Reducción de polvo total (%)	12	38	93	98

La frecuencia de la limpieza de las carreteras depende de muchos factores y sólo puede decidirse caso por caso.

Información operativa: La técnica 4 tenía como desventaja que el agua sucia debía descargarse a una unidad de tratamiento de aguas (tanque de sedimentación), que requiere inversión adicional en caso de que no se disponga de instalaciones de tratamiento de aguas adecuadas.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Planta de referencia: Corus, Países Bajos.

Bibliografía de referencia: [52, Staatliches Umweltamt Duisburg, 2000, 134, Corus, 1995]

4.4.6.13. LIMPIAR LOS NEUMÁTICOS DE LOS VEHÍCULOS

Descripción: Para evitar que los vehículos motorizados recojan polvo en los neumáticos se utilizan distintas técnicas de limpieza. Pueden ser tan sencillas como una piscina de agua por la que se obliga a pasar a los vehículos.



Figura 4.32: Piscina de agua en combinación con agua corriente para limpiar la superficie de rodadura de los neumáticos. [134, Corus, 1995]

Una técnica más sofisticada consiste en utilizar una piscina en combinación con la limpieza de la superficie de rodadura de los neumáticos con agua limpia; el polvo se separa del agua sucia en un tanque de sedimentación y el agua puede reutilizarse nuevamente para limpiar los neumáticos (véase la Figura 4.32). Cuando se acerca un vehículo a las instalaciones, el agua simplemente se rocía a mayor velocidad para minimizar la cantidad utilizada, tanto de agua como de energía.

Cuando es necesario descargar el agua utilizada para lavar los neumáticos, ésta suele tratarse directamente antes de hacerlo, mientras que los materiales recogidos se someten a reciclaje, en especial en el sector primario de los metales no ferrosos, ya que así se evita la liberación de metales.

Además del agua, existen técnicas de limpieza en seco, si bien no se ha aportado información adicional sobre ellas.

Información operativa: Para garantizar que los vehículos queden limpios al pasar por las piscinas de lavado antes de salir de las instalaciones se colocan vallas para forzar a los conductores a atravesarlas.

Aplicabilidad: La limpieza de los neumáticos de los vehículos es una técnica frecuentemente utilizada. Para decidir qué tipo de técnica implantar (una simple piscina o equipos más sofisticados) se analizan diversas circunstancias como las que siguen:

- el aspecto del polvo fino presente en las instalaciones (cuando este polvo cae en las vías públicas se forma una fina capa de lodo, aunque para limpiarlo basta con hacer atravesar al vehículo por una piscina con agua);
- la presencia de terreno pegajoso (cuesta más de limpiar en las instalaciones de lavado porque permanece en las bandas del neumático);
- el contenido de sustancias peligrosas del polvo;

- la distancia respecto a viviendas cercanas y otros elementos sensibles;
- el número de vehículos tiene una importancia menor a la hora de decidir si es necesario instalar uno de estos sistemas de limpieza.

Cuestiones de seguridad: Ninguno.

Planta de referencia: Corus en los Países Bajos y varias plantas más de Duisburg, Alemania .

Bibliografía de referencia: [52, Staatliches Umweltamt Duisburg, 2000] [134, Corus, 1995] [133, OSPAR, 1998]

4.4.7. Medidas para prevenir las emisiones generadas al manipular productos embalados

Véase el apartado 4.1.7.

4.4.8. Gestión de la seguridad y del riesgo al manipular sólidos

Véase el apartado 4.1.6.1, donde se analiza la Directiva Seveso con respecto al almacenamiento de líquidos peligrosos o gases licuados; la información resulta igualmente válida para el almacenamiento y la manipulación de sustancias peligrosas sólidas.

5. Mejores técnicas disponibles

Para comprender mejor este capítulo y su contenido se remite al lector al prefacio del presente documento, en particular a la quinta sección del mismo titulada «Cómo interpretar y utilizar este documento». Las técnicas y los niveles de emisiones y/o consumo asociados (o márgenes de niveles), que se presentan en este apartado, se basan en un proceso reiterativo compuesto por las siguientes fases:

- identificación de aspectos ambientales claves para el sector; emisiones atmosféricas y al suelo provocadas por el almacenamiento, el transporte y la manipulación de líquidos y gases licuados y del polvo generado al almacenar y manipular sólidos. También se analizan aspectos relativos a la seguridad;
- análisis de las técnicas más importantes para resolver los aspectos claves;
- identificación de los mejores niveles de rendimiento ambiental en base a los datos disponibles sobre la Unión Europea y el resto del mundo;
- examen de las condiciones que permitieron lograr los niveles de rendimiento identificados; por ejemplo costes, efectos cruzados, motivos principales para la implantación de las técnicas, etc.
- elección de las mejores técnicas disponibles (MTD) y los niveles de emisiones y/o consumo asociados en general, según lo recogido en el artículo 2(11) y el anexo IV de la Directiva.

Las opiniones de los expertos de la Oficina Europea de IPPC y del grupo de trabajo técnico (GTT) creado han sido de vital importancia en cada una de las fases y en el modo en el que se presenta la información en este documento.

En base a su valoración se presentan en este capítulo técnicas, y en la medida de lo posible niveles de emisión y consumo asociados al uso de MTD, consideradas apropiadas para los sistemas de almacenamiento, transporte y manipulación tratados y que en muchos casos reflejan el rendimiento actual de algunas instalaciones del sector. En caso de proporcionar datos sobre niveles de consumo o emisiones «asociados a las mejores técnicas disponibles», éstos deberán interpretarse como los resultados que propiciaría la aplicación de las técnicas descritas, teniendo siempre presente el equilibrio entre costes y ventajas que caracteriza a las MTD. No se trata, pues, de fijar niveles límites de emisiones o consumo y no deberían interpretarse como tales. En algunos casos puede que sea técnicamente posible lograr mejores niveles de emisiones o de consumo, pero a causa de los costes o de efectos cruzados, esas MTD no se consideran apropiadas para el conjunto del sector de los sistemas de almacenamiento, transporte y manipulación. Sin embargo, es posible que esos niveles se consideren justificados en casos concretos en los que existan motivos especiales para su implantación.

Los niveles de emisión y consumo asociados al empleo de MTD deben considerarse conjuntamente con las condiciones especiales que se indiquen en cada caso (por ejemplo los períodos medios).

El concepto de «niveles asociados a las MTD» arriba descrito debe distinguirse del «nivel alcanzable» utilizado hasta ahora en el presente documento. Cuando un nivel se considera «alcanzable» a partir del uso de una técnica concreta o de un conjunto de ellas, debería entenderse como el resultado esperado a lo largo de un período de tiempo considerable, con la explotación y el mantenimiento correctos de las instalaciones donde se utilizan esas técnicas.

Siempre que se disponía de datos sobre costes se han aportado junto con la descripción de la técnica analizada en el capítulo previo. Con ello se pretendía dar una indicación aproximada del alcance económico de los costes. Sin embargo, los costes reales de implantar una técnica dependen en gran medida de las condiciones locales relativas, por ejemplo, a los impuestos o las tasas, así como a las características técnicas de la propia instalación. En el presente estudio resulta imposible evaluar exhaustivamente esos parámetros que dependen específicamente de las instalaciones. A falta de datos sobre costes se aportarán conclusiones sobre la viabilidad económica de las técnicas descritas a partir de la observación de las instalaciones existentes.

En este capítulo se busca aportar MTD generales que sirvan de punto de referencia para contrastar el rendimiento actual de las instalaciones existentes o sobre las que basar propuestas para instalaciones nuevas. Así, se intenta que resulten útiles al determinar las condiciones más apropiadas, basadas en las MTD, para cada emplazamiento o a la hora de establecer normas vinculantes generales como señala el artículo 9(8), en previsión de que las nuevas instalaciones puedan diseñarse de modo que su funcionamiento cumpla o incluso supere los niveles generales establecidos en las MTD tratadas. También se analiza si las instalaciones existentes podrían alcanzar (o superar) los niveles indicados en las MTD generales, en función de la aplicabilidad técnica y económica de las técnicas presentadas en cada caso.

Los documentos de referencia sobre MTD no crean un marco legal vinculante, sino que su objetivo es aportar información que sirva de guía a la industria, los Estados miembros y el público sobre los niveles de emisión y consumo alcanzables a partir del empleo de determinadas técnicas. Los valores límite concretos, aplicables en cada caso, deberán determinarse tomando en consideración los objetivos de la Directiva IPPC y los condicionantes locales.

A partir de un enfoque horizontal se procede a evaluar los aspectos ambientales de las técnicas implantadas y las medidas de reducción asociadas y, además, a la identificación de MTD genéricas e independientes del sector industrial en el que dichas técnicas se utilizan.

Con todo, puesto que los tanques difieren como consecuencia del diseño, el producto almacenado, la ubicación, etc., se ha desarrollado una metodología con

la que valorar las medidas de control de las emisiones (MCE) analizadas en el capítulo 4. Esta metodología, descrita en el apartado 4.1.1, es una herramienta a disposición del solicitante del permiso y del titular, que podrán definir qué MCE, o combinación de ellas, siempre que se ajusten o superen los niveles de MTD genéricos, funcionan mejor al almacenar líquidos o gases licuados en situaciones concretas.

Algunos Estados miembros tienen una opinión distinta y disienten de que la metodología de MCE sea práctica o adecuada para determinar las MTD (véase el apartado 4.1.1). En concreto, la metodología:

- no corresponde a ninguna MTD, como se acordó en el GTT. Además, la metodología no cumple los requisitos de las MTD establecidos en el documento «BREF Outline and Guide»;
- no se ha sometido a ensayos prácticos por parte de las autoridades que conceden los permisos;
- no admite conclusiones a nivel europeo o sectorial respecto a MTD para sustancias con determinadas propiedades y
- no ofrece la posibilidad de armonizar la técnicas de las MTD en Europa.

Algunos Estados miembros no están de acuerdo con las conclusiones del capítulo 5 porque, desde su punto de vista, hace excesivo hincapié en la determinación de las MTD caso por caso y a un nivel local. Consideran que el BREF no contiene conclusiones sobre MTD europeas claras que contribuyan a armonizar mejor las exigencias a un nivel europeo. Por ello preferirían, en concreto, que dichas exigencias se basaran en el potencial de riesgo y en la cantidad de materiales manipulados.

5.1. Almacenamiento de líquidos y gases licuados

5.1.1. Tanques

5.1.1.1. PRINCIPIOS GENERALES DE PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES

Diseño del tanque

Las MTD relativas al diseño deben tener en cuenta al menos los aspectos siguientes:

- las propiedades fisicoquímicas de la sustancia almacenada;
- cómo se realiza el almacenamiento, qué nivel de instrumentación se necesita, cuántos operadores son necesarios y cuál será su carga de trabajo;
- de qué forma se informa a los operadores en caso de que se alteren las condiciones normales de un proceso (alarmas);

- cómo se protegen los productos almacenados en caso de alteración de las condiciones normales del proceso (instrucciones de seguridad, sistemas de bloqueo, dispositivos de alivio de presión, detección de fugas y contención, etc.);
- qué equipo debe instalarse, teniendo en cuenta especialmente el historial pasado del producto (materiales estructurales, calidad de las válvulas, etc.);
- qué plan de mantenimiento e inspección debe implantarse y cómo facilitar los procesos de mantenimiento e inspección (acceso, diseño, etc.);
- cómo hacer frente a situaciones de emergencia (distancia respecto a otros tanques, las instalaciones y los límites de éstas, protección antiincendio, acceso de los servicios de emergencia como, por ejemplo, los bomberos, etc.).

En el anexo 8.19 se puede consultar una lista de comprobaciones típica.

Inspección y mantenimiento

Constituye una MTD utilizar una herramienta para determinar los planes de mantenimiento proactivos y desarrollar planes de inspección basados en el riesgo como, por ejemplo, el método de mantenimiento basado en el riesgo y la fiabilidad; véase el apartado 4.1.2.2.1.

Las tareas de inspección pueden clasificarse en rutinarias, inspecciones externas en servicio e inspecciones internas fuera de servicio, como se describe en detalle en el apartado 4.1.2.2.2.

Ubicación y diseño

Al construir tanques nuevos es importante seleccionar cuidadosamente la ubicación y el diseño; por ejemplo, deben evitarse las áreas de protección y de captación de agua siempre que sea posible. Véase el apartado 4.1.2.3.

Constituye una MTD ubicar un tanque que funcione a, o cerca de, presión atmosférica por encima de la superficie. Con todo, los tanques subterráneos también podrían ser una opción en el caso de almacenamiento de líquidos inflamables en plantas con espacio limitado. Por lo que respecta a los gases licuados, las opciones posibles son los tanques subterráneos, los tanques cubiertos de tierra o depósitos esféricos, dependiendo del volumen de producto almacenado.

Color de los tanques

Es MTD aplicar a los tanques pintura con una reflectividad frente a la radiación térmica o lumínica de al menos el 70 % o bien un escudo solar en tanques de superficie que alberguen sustancias volátiles, véanse, respectivamente, los apartados 4.1.3.6 y 4.1.3.7.

Principio de minimización de la emisiones generadas por el almacenamiento en tanques

Constituye una MTD limitar las emisiones generadas por el almacenamiento, el transporte y la manipulación en tanques que tengan efectos ambientales nocivos, como se describe en el apartado 4.1.3.1.

Esta técnica es aplicable a grandes instalaciones de almacenamiento y proporciona cierto margen temporal para la implantación.

Seguimiento de COV

En plantas en las que se prevean grandes emisiones de COV es MTD calcular regularmente las emisiones de estos componentes. El modelo de cálculo quizá deba validarse periódicamente mediante la aplicación de un método de medición. Véase el apartado 4.1.2.2.3.

Tres Estados miembros se muestran en desacuerdo, ya que, desde su punto de vista, consideran que en las instalaciones donde se prevén emisiones considerables constituye una MTD calcular las emisiones de COV regularmente a partir de métodos de cálculo validados y que, a causa de las incertidumbres del método de cálculo, las emisiones de las plantas deberían controlarse periódicamente para poder cuantificarlas y aportar datos básicos con que afinar los métodos de cálculo. Todo ello puede lograrse a partir del empleo de la técnica DIAL. La necesidad y la frecuencia del seguimiento de las emisiones debe determinarse caso por caso.

Sistemas especializados

La utilización de sistemas especializados es una MTD; véase el apartado 4.1.4.4.

Los sistemas especializados no pueden utilizarse, por lo general, en plantas donde los tanques se utilicen para el almacenamiento a corto-medio plazo de productos diferentes.

5.1.1.2. CONSIDERACIONES ESPECÍFICAS PARA LOS TANQUES

Tanques de techo abierto

Los tanques de techo abierto se utilizan para el almacenamiento de, por ejemplo, purines en explotaciones agrícolas y agua u otros líquidos no inflamables y no volátiles en instalaciones industriales; véase el apartado 3.1.1.

Si se producen emisiones atmosféricas, constituye una MTD cubrir el tanque por medio de:

- una cubierta flotante; véase el apartado 4.1.3.2.
- una cubierta flexible o toldo; véase el apartado 4.1.3.3, o bien
- una cubierta rígida; véase el apartado 4.1.3.4.

Además, si se instala en un depósito de techo abierto una cubierta flexible, un toldo o una cubierta rígida, podrá utilizarse un equipo de tratamiento de gases para lograr una reducción adicional de las emisiones; véase el apartado 4.1.3.15. El tipo de cubierta y la necesidad de implantar un sistema de tratamiento del vapor dependen de las sustancias almacenadas, por lo que deberán decidirse caso por caso.

Para evitar posibles deposiciones que obligarían a adoptar un paso adicional de limpieza, constituye una MTD agitar la sustancia almacenada (por ejemplo purín); véase el apartado 4.1.5.1.

Tanques de techo flotante externo

Los tanques de techo flotante externo se emplean para almacenar, por ejemplo, petróleo crudo; véase el apartado 3.1.2.

El nivel de reducción de las emisiones asociado a las MTD para tanques de gran tamaño es de al menos el 97 % (en comparación con los tanques de techo fijo no dotados de medidas); puede alcanzarse si al menos el 95 % del espacio perimetral que separa el techo del tanque mide menos de 3,2 mm y si se utilizan juntas mecánicas de zapata de contacto líquido. La instalación de juntas primarias de contacto líquido y juntas secundarias periféricas permite lograr una reducción de las emisiones atmosféricas de hasta el 99,5 % (en comparación con los tanques de techo fijo no dotados de medidas). A pesar de todo, la elección de la junta se realiza en función de la fiabilidad; así, por ejemplo, las de zapata se prefieren por su longevidad y, por tanto, para instalaciones con un gran volumen de operaciones. Véase el apartado 4.1.3.9.

Constituye una MTD utilizar techos flotantes de contacto directo (de dos pisos), si bien los techos flotantes sin contacto existentes (pontón) también son MTD. Véase el apartado 3.1.2.

Medidas adicionales para reducir las emisiones (véase el apartado 4.1.3.9.2):

- habilitar un flotador en la guía calibrada
- recubrir con una camisa la guía calibrada y/o
- utilizar «fundas» en los soportes del techo.

Las cúpulas constituyen una MTD cuando las condiciones climatológicas son adversas, por ejemplo si el viento es fuerte o llueve o nieva. Véase el apartado 4.1.3.5.

En cuanto a los líquidos con elevado contenido de partículas (por ejemplo el petróleo crudo), es una MTD agitar la sustancia almacenada para evitar que se produzcan deposiciones que requerirían una fase adicional de limpieza; véase el apartado 4.1.5.1.

Tanques de techo fijo

Los tanques de techo fijo se emplean para el almacenamiento de líquidos inflamables y de otro tipo, por ejemplo productos del petróleo y sustancias químicas de cualquier nivel de toxicidad; véase el apartado 3.1.3.

Respecto al almacenamiento de sustancias volátiles consideradas tóxicas (T), muy tóxicas (T+) o carcinogénicas, mutagénicas y tóxicas para la reproducción de categoría 1 y 2 en un tanque de techo fijo es MTD utilizar un equipo de tratamiento de gases.

El sector no se pone de acuerdo sobre si esta técnica constituye una MTD o no porque, desde su punto de vista:

- a) el presente BREF no incluye una definición de «volátil»;*
- b) no existen ensayos significativos desde una perspectiva ambiental;*
- c) no se capturan productos que podrían ser nocivos para el medio ambiente a pesar de no estar clasificados como tóxicos;*
- d) puede demostrarse que existen otras medidas de control de las emisiones que proporcionarían un nivel superior de protección ambiental teniendo en cuenta los costes y ventajas de las distintas técnicas;*
- e) no existen criterios de rendimiento de común aceptación para los equipos de tratamiento de gases;*
- f) no se han tenido en cuenta los costes o las ventajas de otras técnicas;*
- g) no es lo suficientemente flexible para tomar en consideración las características técnicas de las instalaciones en cuestión, su ubicación geográfica y las condiciones ambientales locales*
- h) la conclusión carece de proporcionalidad.*

Por lo que respecta a otras sustancias, constituye una MTD utilizar equipos de tratamiento de gases o bien instalar un techo de flotación interno (véanse los apartados 4.1.3.15 y 4.1.3.10, respectivamente). Los techos de flotación de contacto directo y los techos sin contacto directo también son MTD. En los Países Bajos, la condición que determina la utilización de estas MTD es que la sustancia tenga una presión de vapor de 1 kPa (a 20 °C) y el tanque un volumen de $\geq 50 \text{ m}^3$. En Alemania la condición que determina su utilización es que la sustancia tenga una presión de vapor de 1,3 kPa (a 20 °C) y el tanque un volumen de $\geq 300 \text{ m}^3$.

Para tanques de $< 50 \text{ m}^3$, la MTD consiste en implantar una válvula de alivio de presión programada al valor máximo posible que permitan los criterios de diseño del tanque.

La elección de la técnica de tratamiento de gases se basa en criterios como los costes, la toxicidad del producto, la eficacia de reducción de las emisiones, la cantidad de emisiones en reposo y la posibilidad de recuperar producto o energía, aspectos que deben decidirse caso por caso. La reducción de las emisiones asociada a la MTD es de al menos el 98 % (en comparación con los tanques de techo fijo no dotados de medidas). Véase el apartado 4.1.3.15.

El nivel de reducción de las emisiones alcanzable en el caso de tanques de gran tamaño con techos de flotación internos es de al menos el 97 % (en comparación con los tanques de techo fijo no dotados de medidas); puede alcanzarse si al menos el 95 % del espacio perimetral que separa el techo del tanque mide menos de 3,2 mm y si se utilizan juntas mecánicas de zapata de contacto líquido. La instalación de juntas primarias de contacto líquido y juntas secundarias periféricas permite lograr una reducción de las emisiones atmosféricas aún superior. Sin embargo, cuanto más pequeño sea el tanque y el número de renovaciones, menos eficaz será el techo flotante; véanse los anexos 8.22 y 8.23, respectivamente.

Además, los casos estudiados en el anexo 8.13 demuestran que los niveles de reducción de las emisiones alcanzables dependen de varios aspectos como la sustancia que se almacena, la climatología, el número de renovaciones y el diámetro del tanque. Los cálculos muestran que con un techo de flotación interno puede lograrse una reducción de las emisiones del orden del 62,9 – 97,6 % (en comparación con los tanques de techo fijo no dotados de medidas); el valor de 62,9 % corresponde a un tanque de 100 m^3 equipado únicamente con juntas primarias y el de 97,6 % a un tanque de $10\,263 \text{ m}^3$ dotado de juntas primarias y secundarias.

En cuanto a los líquidos con elevado contenido de partículas (por ejemplo el petróleo crudo), es una MTD agitar la sustancia almacenada para evitar que se produzcan deposiciones que requerirían una fase adicional de limpieza; véase el apartado 4.1.5.1.

Tanques atmosféricos horizontales

Los tanques atmosféricos horizontales se emplean para el almacenamiento de líquidos inflamables y de otro tipo, por ejemplo productos del petróleo y sustancias químicas de cualquier nivel de inflamabilidad y toxicidad; véase el apartado 3.1.4. Los tanques horizontales difieren de los verticales en que, por ejemplo, son capaces de funcionar a presiones superiores.

Respecto al almacenamiento de sustancias volátiles consideradas tóxicas (T), muy tóxicas (T+) o carcinogénicas, mutagénicas y tóxicas para la reproducción de

categoría 1 y 2 en un tanque atmosférico horizontal es MTD utilizar un equipo de tratamiento de gases.

El sector no se pone de acuerdo sobre si esta técnica constituye una MTD o no porque, desde su punto de vista:

- a) *el presente BREF no incluye una definición de «volátil»;*
- b) *no existen ensayos significativos desde una perspectiva ambiental;*
- c) *no se capturan productos que podrían ser nocivos para el medio ambiente a pesar de no estar clasificados como tóxicos;*
- d) *puede demostrarse que existen otras medidas de control de las emisiones que proporcionarían un nivel superior de protección ambiental teniendo en cuenta los costes y ventajas de las distintas técnicas;*
- e) *no existen criterios de rendimiento de común aceptación para los equipos de tratamiento de gases;*
- f) *no se han tenido en cuenta los costes o las ventajas de otras técnicas;*
- g) *no es lo suficientemente flexible para tomar en consideración las características técnicas de las instalaciones en cuestión, su ubicación geográfica y las condiciones ambientales locales;*
- h) *la conclusión carece de proporcionalidad.*

Por lo que respecta a otras sustancias, constituye una MTD utilizar todas o una combinación de las siguientes técnicas, en función de las sustancias almacenadas:

- utilizar válvulas de alivio de presión y de vacío; véase el apartado 4.1.3.11
- operación a una presión de 56 mbar; véase el apartado 4.1.3.11
- empleo de compensación de vapor; véase el apartado 4.1.3.13
- utilización de depósitos para vapores; véase el apartado 4.1.3.14 o bien
- utilización de tratamiento de gases; véase el apartado 4.1.3.15.

La elección de la tecnología de tratamiento de gases debe decidirse caso por caso.

Almacenamiento a presión

El almacenamiento a presión es válido para cualquier categoría de gas licuado, desde no inflamable hasta inflamable y muy tóxico. Las únicas emisiones atmosféricas destacables durante el funcionamiento normal se producen durante el drenaje.

Las MTD para el drenaje dependen del tipo de tanque, pero pueden consistir en acoplar un sistema de drenaje cerrado a una instalación de tratamiento de gases; véase el apartado 4.1.4.

La elección de la tecnología de tratamiento de gases debe decidirse caso por caso.

Tanques de techo levadizo

Por lo que respecta a las emisiones a la atmósfera, constituyen MTD (véanse los apartados 3.1.9 y 4.1.3.14):

- utilizar un tanque de diagrama flexible equipado con válvulas de alivio de presión/vacío, o bien;
- utilizar un tanque de techo levadizo equipado con válvulas de alivio de presión/vacío y conectado a un equipo de tratamiento de gases.

La elección de la tecnología de tratamiento de gases debe decidirse caso por caso.

Tanques refrigerados

No producen emisiones significativas durante el funcionamiento normal; véase el apartado 3.1.10.

Tanques subterráneos y cubiertos de tierra

Los tanques subterráneos y cubiertos de tierra se utilizan de forma especial para almacenar productos inflamables; véanse los apartados 3.1.11 y 3.1.8, respectivamente.

Respecto al almacenamiento de sustancias volátiles consideradas tóxicas (T), muy tóxicas (T+) o carcinogénicas, mutagénicas y tóxicas para la reproducción de categoría 1 y 2 en un tanque subterráneo o cubierto de tierra es MTD utilizar un equipo de tratamiento de gases.

El sector no se pone de acuerdo sobre si esta técnica constituye una MTD o no porque, desde su punto de vista:

- a) el presente BREF no incluye una definición de «volátil»;*
- b) no existen ensayos significativos desde una perspectiva ambiental;*
- c) no se capturan productos que podrían ser nocivos para el medio ambiente a pesar de no estar clasificados como tóxicos;*
- d) puede demostrarse que existen otras medidas de control de las emisiones que proporcionarían un nivel superior de protección ambiental teniendo en cuenta los costes y ventajas de las distintas técnicas;*
- e) no existen criterios de rendimiento de común aceptación para los equipos de tratamiento de gases;*
- f) no se han tenido en cuenta los costes o las ventajas de otras técnicas;*
- g) no es lo suficientemente flexible para tomar en consideración las características técnicas de las instalaciones en cuestión, su ubicación geográfica y las condiciones ambientales locales;*
- h) la conclusión carece de proporcionalidad.*

Por lo que respecta a otras sustancias, constituye una MTD utilizar todas o una combinación de las siguientes técnicas, en función de las sustancias almacenadas:

- utilizar válvulas de alivio de presión y de vacío; véase el apartado 4.1.3.11;
- empleo de compensación de vapor; véase el apartado 4.1.3.13
- utilización de depósitos para vapores; véase el apartado 4.1.3.14, o bien
- utilización de tratamiento de gases; véase el apartado 4.1.3.15.

La elección de la tecnología de tratamiento de gases debe decidirse caso por caso.

5.1.1.3. PREVENCIÓN DE INCIDENTES Y ACCIDENTES (GRAVES)

Gestión de la seguridad y del riesgo

La Directiva Seveso II (Directiva 96/82/CE del Consejo, de 9 de diciembre de 1996, relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas) requiere que las empresas adopten todas las medidas necesarias para prevenir y limitar las consecuencias de los accidentes graves. Deberán, en cualquier caso, contar con una política de prevención de accidentes graves (PPAG) y un sistema de gestión de la seguridad para implantar la PPAG. Las empresas que alberguen grandes cantidades de sustancias peligrosas, los llamados establecimientos de nivel superior, deberán además redactar un informe de seguridad y un plan de emergencia interno, así como mantener una lista actualizada de las sustancias. Sin embargo, las plantas que quedan fuera del ámbito de aplicación de la Directiva Seveso II también pueden provocar emisiones a causa de incidentes y accidentes. El primer paso para prevenirlas o evitarlas es implantar un sistema de gestión de la seguridad, aunque no sea tan detallado.

Para prevenir incidentes y accidentes constituye una MTD la implantación de un sistema de gestión de la seguridad, como se describe en el apartado 4.1.6.1.

Procedimientos operativos y formación

Es una MTD habilitar y cumplir medidas organizativas adecuadas así como posibilitar la formación e instrucción de los empleados en el uso responsable y seguro de las instalaciones, como se describe en el apartado 4.1.6.1.1.

Fugas a causa de la corrosión/erosión

La corrosión es uno de los principales motivos de anomalía en los equipos y puede ocurrir tanto en la parte interior como la exterior de cualquier superficie metálica; véase el apartado 4.1.6.1.4. Constituyen MTD evitar la corrosión por medio de:

- la selección de material estructural resistente al producto almacenado;
- la utilización de métodos de construcción apropiados;
- evitar que el agua de lluvia o el agua subterránea se infiltren en el tanque y, en caso necesario, extraer el agua que se haya acumulado;
- gestionar el agua de lluvia de forma que drene en un dique;
- realizar mantenimiento preventivo y
- cuando sea posible, instalar sistemas inhibidores de corrosión o de protección catódica en el interior del tanque.

Además, en los tanques subterráneos, constituye una MTD aplicar a la superficie exterior:

- un revestimiento resistente a la corrosión;
- chapado y/o
- un sistema de protección catódica.

La tensocorrosión es un problema específico de los tanques esféricos, semirrefrigerados y determinados tanques completamente refrigerados que albergan amoníaco. Constituye una MTD prevenir la tensocorrosión por medio de:

- aliviar la tensión por medio de un tratamiento térmico posterior a la soldadura (véase el apartado 4.1.6.1.4) y
- realizar inspecciones basadas en el riesgo como se describe en el apartado 4.1.2.2.1.

Procedimientos operativos e instrumentos para evitar sobrellenos

Representa una MTD implantar y observar procedimientos operativos, por ejemplo a través de un sistema de gestión, como se describe en el apartado 4.1.6.1.5, con el fin de:

- instalar instrumentos de primer nivel, ya sean medidores de nivel dotados de alarma y/o sistemas de cierre automático de las válvulas;
- implantar instrucciones de funcionamiento adecuadas para evitar sobrellenos durante los procedimientos de llenado de los tanques y
- que exista suficiente capacidad disponible para albergar mayor volumen de producto.

Una alarma autónoma requiere intervención manual y procedimientos adecuados. Las válvulas automáticas deberían estar integradas en los procesos anteriores y sus diseños para garantizar que en caso de cerrarse no se produzcan consecuencias adversas. El tipo de alarma necesario debe decidirse tanque por tanque. Véase el apartado 4.1.6.1.6.

Instrumentos y automatización para detectar fugas

Las cuatro técnicas utilizadas para la detección de fugas son las siguientes:

- barreras de prevención de vertidos
- control de existencias
- método de control de emisiones acústicas
- control de vapores presentes en el suelo

La MTD consiste en instalar sistemas de detección de fugas en tanques que contengan líquidos que puedan contaminar el suelo potencialmente. La aplicabilidad de las distintas técnicas depende del tipo de tanque y se analiza en detalle en el apartado 4.1.6.1.7.

Aproximación basada en el riesgo a las emisiones producidas bajo el suelo de los tanques

El método basado en el riesgo a las emisiones al suelo generadas por un tanque vertical, de base plana y de superficie que contenga líquidos con potencial contaminante del suelo consiste en la aplicación de medidas de protección del suelo tan exhaustivas que sólo exista un «riesgo insignificante» de que se contamine el suelo a causa de fugas producidas en el fondo de los tanques o en la junta de unión del fondo con la pared. Véase el apartado 4.1.6.1.8 en él se explican el método y los distintos niveles de riesgo.

Constituye una MTD lograr un «nivel de riesgo insignificante» de contaminación del suelo provocada por fugas en el fondo o en la junta de unión del fondo con la pared en tanques de superficie. A pesar de todo, es posible que un análisis caso por caso identificase situaciones en las que un «nivel de riesgo aceptable» resultara suficiente.

Protección del suelo situado alrededor de los tanques: contención

Las MTD para tanques de superficie que contengan líquidos inflamables o líquidos que representen un riesgo considerable de contaminación terrestre o de los cursos de agua cercanos consisten en proporcionar contención secundaria, por ejemplo a través de:

- diques construidos alrededor de los tanques de pared única; véase el apartado 4.1.6.1.11.
- tanques de doble pared; véase el apartado 4.1.6.1.13
- tanques en forma de vaso; véase el apartado 4.1.6.1.14
- tanques de doble pared con control de la descarga del fondo; véase el apartado 4.1.6.1.15.

Por lo que respecta a la construcción de nuevos tanques de pared única para albergar líquidos que representen un riesgo considerable de contaminación del suelo o de los cursos de agua cercanos, es una MTD crear una barrera completa e impermeable en los diques de contención; véase el apartado 4.1.6.1.10.

En cuanto a los tanques situados dentro de un dique, la MTD consiste en implantar un método basado en el riesgo que tenga en cuenta el nivel de peligrosidad de los posibles vertidos de productos al suelo para determinar así qué barrera es la más apropiada. Esta aproximación basada en el riesgo también puede utilizarse para establecer si una barrera impermeable parcial en un dique es suficiente o si la totalidad del dique debe protegerse con una barrera impermeable. Véase el apartado 4.1.6.1.11.

Tipos de barreras impermeables:

- membranas flexibles, por ejemplo de polietileno de alta densidad (PEAD);
- capas de arcilla;
- superficies asfálticas;
- superficies de hormigón.

Para los disolventes de hidrocarburos clorados (CHC) almacenados en tanques de pared única, la MTD es aplicar películas a prueba de CHC a las barreras (y diques de contención) de hormigón a base de resinas furánicas o fenólicas. Existe un tipo de resina epoxi que también es resistente a los CHC. Véase el apartado 4.1.6.1.12.

Las MTD para tanques subterráneos y cubiertos de tierra que almacenen productos potencialmente contaminantes del suelo son:

- utilizar un tanque de pared doble dotado de sistema de detección de fugas; véase el apartado 4.1.6.1.16, bien
- utilizar un tanque de pared única con contención secundaria y sistema de detección de fugas; véase el apartado 4.1.6.1.17.

Zonas inflamables y fuentes de ignición

Véase el apartado 4.1.6.2.1 y también la Directiva 1999/92/CE (ATEX).

Protección contra incendios

La necesidad de habilitar medidas de protección contra incendios debe decidirse caso por caso. A continuación se incluyen algunos ejemplos de medidas de protección (véase el apartado 4.1.6.2.2):

- revestimientos o recubrimientos antiincendios;

- muros corta fuegos (sólo en los tanques más pequeños);
- sistemas de refrigeración por agua.

Equipos de lucha contra incendios

La necesidad de instalar equipos de lucha contra incendios y la decisión sobre qué equipo debe utilizarse debe adoptarse caso por caso y de acuerdo con el cuerpo de bomberos local. En el apartado 4.1.6.2.3 se dan algunos ejemplos al respecto.

Contención de agente extintor contaminado

La capacidad de contención de agente extintor contaminado depende de las circunstancias locales, por ejemplo de qué sustancias se almacenan y si el depósito se encuentra cerca de cursos fluviales y/o está ubicado en un área de captación de agua. El tipo de contención empleado deberá, por tanto, decidirse caso por caso; véase el apartado 14.1.6.2.4.

En el caso de sustancias tóxicas, carcinogénicas o sustancias peligrosas de otros tipos, la MTD consiste en instalar un sistema de contención completo.

5.1.2. Almacenamiento de sustancias peligrosas embaladas

Gestión de la seguridad y del riesgo

No se producen pérdidas operativas al almacenar materiales peligrosos embalados. Las únicas emisiones posibles provienen de incidentes y accidentes (graves). Las empresas que entran dentro del ámbito de aplicación de la Directiva Seveso II deben adoptar todas las medidas necesarias para prevenir y limitar las consecuencias de los accidentes graves. Deberán, en cualquier caso, contar con una política de prevención de accidentes graves (PPAG) y un sistema de gestión de la seguridad para implantar la PPAG. Las empresas que se encuentren en la categoría de riesgo elevado (anexo I de la Directiva) deberán además redactar un informe de seguridad y un plan de emergencia interno, así como mantener una lista actualizada de las sustancias. Sin embargo, las plantas que quedan fuera del ámbito de aplicación de la Directiva Seveso II también pueden provocar emisiones a causa de incidentes y accidentes. El primer paso para prevenirlas o evitarlas es implantar un sistema de gestión de la seguridad, aunque no sea tan detallado.

Para prevenir incidentes y accidentes constituye una MTD la implantación de un sistema de gestión de la seguridad, como se describe en el apartado 4.1.6.1.

El nivel de detalle del sistema depende claramente de factores como la cantidad de sustancias almacenadas, su riesgo específico y la ubicación de los depósitos. Con todo, los requisitos mínimos de la MTD serían valorar el riesgo de accidentes e incidentes en las instalaciones a partir de los cinco pasos descritos en el apartado 4.1.6.1.

Formación y responsabilidad

Constituye una MTD nombrar a una persona o equipo de personas responsable(s) del funcionamiento del almacén.

Es una MTD proporcionar a la persona o personas responsables formación y formación adicional específica sobre procedimientos de emergencia, como se describe en el apartado 4.1.7.1, además de informar a los demás miembros del personal de la planta sobre los riesgos que representa almacenar sustancias peligrosas embaladas y las precauciones necesarias para hacerlo de forma segura en caso de sustancias con distintos niveles de peligrosidad.

Áreas de almacenamiento

Constituye una MTD almacenar los productos en almacenes y/o en áreas de almacenamiento exteriores con techo, como se detalla en el apartado 4.1.7.1. Para almacenar cantidades de sustancias peligrosas inferiores a 2500 litros o kilogramos también es una MTD utilizar una célula de almacenamiento, como se describe en el apartado 4.1.7.2.

Separación y segregación

Es una MTD separar la zona o el edificio de almacenamiento que contiene sustancias peligrosas embaladas de otros almacenes, fuentes de ignición y otras instalaciones, situadas tanto dentro como fuera de la planta, mediante una separación suficiente, en ocasiones combinada con muros resistentes al fuego. Los Estados miembros establecen distintas distancias de separación entre el almacenamiento (en el exterior) de sustancias peligrosas embaladas y otros objetos situados dentro y fuera de las instalaciones; para ver más ejemplos consúltese el apartado 4.1.7.3.

Representa una MTD separar y/o segregar las sustancias incompatibles. Véase el anexo 8.3 para consultar cuáles son las combinaciones de productos compatibles e incompatibles. Los Estados miembros establecen distintas distancias de separación y/o particiones físicas entre almacenes de sustancias incompatibles; para obtener algunos ejemplos véase el apartado 4.1.7.4.

Contención de fugas y agente extintor contaminado

Constituye una MTD habilitar un receptáculo impermeable, según lo previsto en el apartado 8.3 , capaz de contener total o parcialmente los líquidos peligrosos almacenados por encima del receptáculo. La decisión sobre si debe contenerse la totalidad o sólo una parte de las posibles fugas depende de las sustancias almacenadas y de la ubicación del almacén (por ejemplo en una zona captación de agua), por lo que sólo puede tomarse caso por caso.

Es una MTD habilitar instalaciones de recogida de agente extintor impermeables en almacenes y áreas de almacenamiento, según se prevé en el apartado 4.1.7.5. La capacidad de recogida depende del tipo y la cantidad de sustancias almacenadas, del tipo de embalaje utilizado y del sistema de extinción de incendios existente, por lo que sólo puede decidirse caso por caso.

Equipo antiincendios

Constituye una MTD implantar medidas de prevención y extinción de incendios con un nivel de protección adecuado, como se describe en el apartado 4.1.7.6. El nivel de protección en cuestión deberá decidirse caso por caso y de acuerdo con el cuerpo de bomberos local.

Prevención de la ignición

La MTD consiste en evitar fuentes de ignición, como se explica en el apartado 4.1.7.6.1.

5.1.3. Estanques y balsas

Los estanques y balsas se utilizan para el almacenamiento de, por ejemplo, purines en explotaciones agrícolas y agua u otros líquidos no inflamables y no volátiles en instalaciones industriales.

Si las emisiones atmosféricas provocadas por el funcionamiento normal son significativas, por ejemplo si se almacenan purines, es una MTD cubrir los estanques y lagunas mediante alguno de los siguientes sistemas:

- una cubierta de plástico; véase el apartado 4.1.8.2.
- una cubierta flotante; véase el apartado 4.1.8.2 o bien
- una cubierta rígida (sólo si se trata de estanques pequeños); véase el apartado 4.1.8.2.

Además, cuando se utilice una cubierta rígida, puede acoplarse un equipo de tratamiento de gases para lograr una reducción adicional de las emisiones; véase el apartado 4.1.3.5. Deberá decidirse caso por caso si es necesario instalar un equipo de tratamiento de gases y de qué tipo.

Para evitar sobrellenados a causa del agua de la lluvia cuando el estanque o la balsa no estén cubiertos es una MTD habilitar un francobordo de tamaño suficiente; véase el apartado 4.1.11.1.

Si las sustancias almacenadas en el estanque o balsa representan riesgo de contaminación terrestre, constituye una MTD protegerlas con una barrera impermeable. Ésta puede consistir en una membrana flexible, una capa de arcilla de grosor suficiente u hormigón; véase el apartado 4.1.9.1.

5.1.4. Cavidades excavadas atmosféricas

Emisiones atmosféricas en condiciones de funcionamiento normales

La compensación de vapor es una MTD cuando existen varias cavidades excavadas con lecho fijo para el almacenamiento de hidrocarburos líquidos; véase el apartado 4.1.12.1.

Emisiones provocadas por incidentes y accidentes (graves)

Gracias a su naturaleza intrínseca, las cavidades son, con mucho, el sistema más seguro de almacenar grandes cantidades de hidrocarburos. La MTD para el almacenamiento de grandes cantidades de hidrocarburos es, por tanto, utilizar cavidades excavadas allí donde las características geológicas del emplazamiento lo permitan; véanse los apartados 3.1.15 y 4.1.13.3.

En cuanto a la prevención de incidentes y accidentes, es una MTD implantar un sistema de gestión de la seguridad, como se explica en el apartado 4.1.6.1.

Constituye una MTD implementar, y someterlo regularmente a revisión, un programa de seguimiento que incluya al menos los siguientes aspectos (véase el apartado 4.1.13.2):

- seguimiento del comportamiento del flujo hidráulico alrededor de las cavidades por medio de mediciones de las aguas subterráneas, piezómetros y/o células de presión, medición del flujo del agua infiltrada;
- valoración de la estabilidad de la cavidad mediante seguimiento sísmico;
- procedimientos de seguimiento de la calidad del agua a través de muestreos y análisis periódicos;

- seguimiento de la corrosión, también mediante la evaluación periódica de la carcasa.

Para evitar escapes del producto almacenado en la cavidad excavada, es una MTD diseñarla de modo que a la profundidad a la que se encuentra el producto, la presión hidrostática del agua subterránea circundante sea siempre superior a la del hidrocarburo que contiene; véase el apartado 4.1.13.5.

Para evitar que se infiltre agua en la cavidad excavada, constituye una MTD, aparte de un correcto diseño, inyectar cemento de forma complementaria; véase el apartado 4.1.13.6.

Si se bombea el agua que se infiltra en la cavidad excavada, constituye una MTD someterla a un tratamiento de aguas residuales antes de su descarga; véase el apartado 4.1.13.3.

Es una MTD utilizar sistemas automáticos de protección frente a sobrelLENADOS; véase el apartado 4.1.13.8.

5.1.5. Cavidades excavadas a presión

Emisiones provocadas por incidentes y accidentes (graves)

Gracias a su naturaleza intrínseca, las cavidades son, con mucho, el sistema más seguro de almacenar grandes cantidades de hidrocarburos. La MTD para el almacenamiento de grandes cantidades de hidrocarburos es, por tanto, utilizar cavidades excavadas allí donde las características geológicas del emplazamiento lo permitan; véanse los apartados 3.1.16 y 4.1.14.3.

En cuanto a la prevención de incidentes y accidentes, es una MTD implantar un sistema de gestión de la seguridad, como se explica en el apartado 4.1.6.1.

Constituye una MTD implementar, y someterlo regularmente a revisión, un programa de seguimiento que incluya al menos los siguientes aspectos (véase el apartado 4.1.14.2):

- seguimiento del comportamiento del flujo hidráulico alrededor de las cavidades por medio de mediciones de las aguas subterráneas, piezómetros y/o células de presión, medición del flujo del agua infiltrada;
- valoración de la estabilidad de la cavidad mediante seguimiento sísmico;
- procedimientos de seguimiento de la calidad del agua a través de muestreos y análisis periódicos;
- seguimiento de la corrosión, también mediante la evaluación periódica de la carcasa.

Para evitar escapes del producto almacenado en la cavidad excavada, es una MTD diseñarla de modo que a la profundidad a la que se encuentra el producto, la presión hidrostática del agua subterránea circundante sea siempre superior a la del hidrocarburo que contiene; véase el apartado 4.1.14.5.

Para evitar que se infiltre agua en la cavidad excavada, constituye una MTD, aparte de un correcto diseño, inyectar cemento de forma complementaria; véase el apartado 4.1.14.6.

Si se bombea el agua que se infiltra en la cavidad excavada, constituye una MTD someterla a un tratamiento de aguas residuales antes de su descarga; véase el apartado 4.1.14.3.

Es una MTD utilizar sistemas automáticos de protección frente a sobrellenos; véase el apartado 4.1.14.8.

Constituye una MTD utilizar válvulas de seguridad en caso de situación de emergencia en la superficie; véase el apartado 4.1.14.4.

5.1.6. Cavidades salinas lixiviadas

Emisiones provocadas por incidentes y accidentes (graves)

Gracias a su naturaleza intrínseca, las cavidades son, con mucho, el sistema más seguro de almacenar grandes cantidades de hidrocarburos. La MTD para el almacenamiento de grandes cantidades de hidrocarburos es, por tanto, utilizar cavidades excavadas allí donde las características geológicas del emplazamiento lo permitan; para más detalles véanse los apartados 3.1.17 y 4.1.15.3.

En cuanto a la prevención de incidentes y accidentes, es una MTD implantar un sistema de gestión de la seguridad, como se explica en el apartado 4.1.6.1.

Constituye una MTD implementar, y someterlo regularmente a revisión, un programa de seguimiento que incluya al menos los siguientes aspectos (véase el apartado 4.1.15.2):

- valoración de la estabilidad de la cavidad mediante control sísmico;
- seguimiento de la corrosión, incluida la evaluación periódica de la carcasa;
- realización de exploraciones sonares periódicas para controlar posibles cambios de forma, en especial si se utiliza salmuera subsaturada.

Es posible que haya trazas de hidrocarburo en la interfase salmuera/hidrocarburo a causa del llenado y el vaciado de las cavidades. En este caso, constituye una MTD

separar los hidrocarburos en una unidad de tratamiento de salmuera y recogerlos y eliminarlos de forma segura.

5.1.7. Almacenamiento flotante

El almacenamiento flotante no es una MTD: véase el apartado 3.1.18.

5.2. Transporte y manipulación de líquidos y gases licuados

5.2.1. Principios generales para evitar y reducir las emisiones

Inspección y mantenimiento

Constituye una MTD utilizar una herramienta para establecer planes de mantenimiento proactivos y desarrollar planes de inspección basados en el riesgo como, por ejemplo, el método de mantenimiento basado en el riesgo y la fiabilidad, véase el apartado 4.1.2.2.1.

Programa de detección y reparación de fugas

En las instalaciones con un gran volumen de almacenamiento, y en función de las propiedades de los productos almacenados, representa una MTD implantar un programa de detección y reparación de fugas. La atención debe centrarse en aquellas situaciones con mayor potencial de causar emisiones (por ejemplo gases/líquidos ligeros, zonas sometidas a elevada presión y/o temperatura, etc.); véase el apartado 4.2.1.3.

Principio de minimización de las emisiones en tanques

Es una MTD reducir las emisiones generadas por el almacenamiento, el transporte y la manipulación en tanques que representen efectos ambientales nocivos significativos, como se describe en el apartado 4.1.3.1.

Esta técnica se aplica a grandes instalaciones de almacenamiento, a las que se confiere cierto margen de tiempo para proceder a la implementación.

Gestión de la seguridad y del riesgo

La MTD para prevenir incidentes y accidentes consiste en implantar un sistema de gestión de la seguridad, como se describe en el apartado 4.1.6.1.

Procedimientos operativos y formación

Es una MTD habilitar y cumplir medidas organizativas adecuadas así como posibilitar la formación e instrucción de los empleados en el uso responsable y seguro de las instalaciones, como se describe en el apartado 4.1.6.1.1.

5.2.2 Consideraciones sobre las técnicas de transporte y manipulación

5.2.2.1. TUBERÍAS

Es una BAT utilizar tuberías de superficie cerradas en plantas nuevas; véase el apartado 4.2.4.1. En cuanto a las tuberías subterráneas ya existentes, la MTD consiste en adoptar un método de mantenimiento basado en el riesgo y la fiabilidad, tal como se describe en el apartado 4.1.2.2.1.

Las bridas empernadas y las juntas con empaquetadura son una importante fuente de emisiones fugitivas. La MTD consiste en minimizar el número de bridas sustituyéndolas por conexiones de soldadura, dentro de las limitaciones marcadas por los requisitos operativos propios del mantenimiento de los equipos o la flexibilidad del sistema de transporte; véase el apartado 4.2.2.1.

Entre las MTD para las conexiones mediante bridas empernadas (véase el apartado 4.2.2.2) destacan:

- dotar de bridas ciegas los empalmes que no se utilizan frecuentemente para evitar que se abran accidentalmente;
- utilizar tapas o taponeros en tuberías con extremo abierto en vez de válvulas;
- garantizar que las juntas se elijan de acuerdo con el proceso en el que se utilizarán;
- garantizar la correcta instalación de las juntas;
- garantizar que las juntas de bridas se acoplen y reciban la carga de forma correcta;
- si se transportan sustancias tóxicas, carcinogénicas o sustancias peligrosas de otro tipo, realizar las conexiones mediante juntas de alta integridad como las que tienen estructura en espiral, las juntas Kammprofile o las de anillo;

La corrosión interna puede deberse a la naturaleza corrosiva del producto transportado; véase el apartado 4.2.3.1. Las MTD para la prevención de la corrosión son las siguientes:

- la selección de material estructural resistente al producto almacenado;
- la utilización de métodos de construcción apropiados;
- realizar mantenimiento preventivo y
- cuando sea posible, utilizar revestimientos internos o sistemas inhibidores de corrosión.

Para evitar que las tuberías se vean afectadas por la corrosión externa, constituye una MTD pintar el sistema con una, dos o tres capas de recubrimiento, en función de las peculiaridades del emplazamiento (por ejemplo su cercanía al mar). Las tuberías de plástico o acero inoxidable normalmente no se revisten. Véase el apartado 4.2.3.2.

5.2.2.2. TRATAMIENTO DEL VAPOR

Constituye una MTD utilizar sistemas de tratamiento o compensación de vapor generados durante la carga y descarga de sustancias volátiles a (o de) camiones, gabarras o buques. La importancia de las emisiones depende de la sustancia en cuestión y del volumen de emisión, y deberá decidirse caso por caso. Para más detalles, véase el apartado 4.2.8.

Por ejemplo, de acuerdo con las normas de los Países Bajos, las emisiones de metanol son significativas cuando sobrepasan los 500 kg/año.

5.2.2.3. VÁLVULAS

Entre las MTD para las válvulas destacan las siguientes:

- seleccionar correctamente el material de empaquetamiento y estructural, de acuerdo con la aplicación prevista;
- centrarse, durante el seguimiento, en aquellas válvulas que representan un mayor riesgo (por ejemplo las de control de vástago ascendente en funcionamiento continuo);
- usar válvulas de control rotativas o bombas de velocidad variable en vez de válvulas de control de vástago ascendente;
- cuando se trate de sustancias tóxicas, carcinogénicas o sustancias peligrosas de otro tipo, utilizar válvulas de diafragma, de fuelle o de doble pared;
- conducir las válvulas de seguridad nuevamente al sistema de transporte o almacenamiento o bien a un sistema de tratamiento del vapor.

Véanse los apartados 3.2.2.6. y 4.2.9.

5.2.2.4. BOMBAS Y COMPRESORES

Instalación y mantenimiento de bombas y compresores

El diseño, la instalación y el funcionamiento de la bomba o compresor tienen una enorme influencia en la vida útil potencial y en la fiabilidad de los sistemas de

sellado. A continuación se incluyen algunos de los principales factores que constituyen MTD:

- fijación adecuada de la bomba o unidad compresora a la placa o estructura;
- seguir las recomendaciones del fabricante a la hora de establecer la fuerza de conexión de la tubería;
- diseño adecuado de las tuberías de aspiración para minimizar los desequilibrios hidráulicos;
- alinear el eje y la carcasa teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante;
- alinear el empujador/bomba o la conexión del compresor de acuerdo con las recomendaciones del fabricante;
- equilibrar al nivel adecuado las partes giratorias;
- cebar de forma eficaz las bombas y compresores antes de la puesta en servicio;
- utilizar la bomba y el compresor dentro del margen de funcionamiento recomendado por el fabricante (el rendimiento óptimo se logra en el punto de mayor eficacia);
- el nivel disponible de altura de aspiración positiva neta debe superar el de la bomba o compresor;
- seguimiento y mantenimiento periódico tanto del equipo giratorio como de los sistemas de sellado, en combinación con un programa de reparación o sustitución.

Sistema de sellado en bombas

Constituye una MTD seleccionar los tipos de bomba y junta más adecuados para las características del proceso, preferiblemente bombas técnicamente diseñadas para ser estancas, por ejemplo bombas de motor hermético (encamisadas), de arrastre magnético, con juntas mecánicas múltiples y un sistema de enfriamiento rápido o amortiguación, con juntas mecánicas múltiples y juntas atmosféricas secas, de diafragma o de fuelle. Para más detalles véanse los apartados 3.2.2.2, 3.2.4.1 y 4.2.9.

Sistemas de sellado en compresores

La MTD para los compresores que transportan gases no tóxicos consiste en la utilización de juntas mecánicas lubricadas por medio de gas.

Las MTD para los compresores que transportan gases tóxicos consisten en la utilización de juntas dobles con barrera de líquido o gas y en purgar el lado propio del proceso de la junta de contención por medio de un gas separador inerte.

Cuando la presión es muy elevada, la MTD es utilizar un mecanismo de junta triple.

Para más detalles véanse los apartados 3.2.3. y 4.2.9.13.

5.2.2.5. CONEXIONES DE MUESTREO

Las MTD para los puntos de muestreo de productos volátiles consisten en utilizar una válvula de muestreo tipo pistón o una válvula de aguja y una válvula de bloqueo. Cuando las tuberías de muestreo requieren una purga, constituye una MTD instalar conductos de muestreo de circuito cerrado. Véase el apartado 4.2.9.14.

5.3. Almacenamiento de sólidos

5.3.1. Almacenamiento al aire libre

La MTD consiste en utilizar métodos de almacenamiento confinado como, por ejemplo, silos, depósitos, tolvas y contenedores, para evitar en lo posible la formación de polvo por culpa del viento a través de medidas primarias. En Tabla 4.12 encontrará información sobre estas medidas primarias con referencias a los apartados correspondientes.

Sin embargo, aunque existen silos y hangares de gran capacidad, para cantidades (muy) grandes de materiales nada o poco dispersables y nada o poco humectables, el almacenamiento al aire libre podría ser la única posibilidad. Un ejemplo sería el almacenamiento estratégico a largo plazo de carbón y el almacenamiento de minerales y yeso.

La MTD para el almacenamiento al aire libre consiste en realizar inspecciones visuales periódicas o continuas para ver si hay emisiones de polvo y comprobar que las medidas preventivas funcionan correctamente. Seguir las predicciones meteorológicas mediante, por ejemplo, instrumentos meteorológicos propios puede ayudar a saber cuándo es necesario humedecer las pilas, lo cual permite ahorrar recursos al no tener que humedecerlas innecesariamente. Ver apartado 4.3.3.1.

Las MTD para el almacenamiento al aire libre a largo plazo consisten en una o varias de las siguientes técnicas:

- humedecer la superficie utilizando aglomerantes duraderos. Ver apartado 4.3.6.1;
- cubrir la superficie, por ejemplo con lonas. Ver apartado 4.3.4.4.;
- solidificar la superficie. Ver Tabla 4.13;
- sembrar hierba en la superficie. Ver Tabla 4.13.

Las MTD para el almacenamiento al aire libre a corto plazo consisten en una o varias de las siguientes técnicas:

- humedecer la superficie utilizando aglomerantes duraderos. Ver apartado 4.3.6.1;
- humedecer la superficie con agua. Ver apartados 4.3.6.1;
- cubrir la superficie, por ejemplo con lonas. Ver apartado 4.3.4.4.

También existen otras medidas para reducir las emisiones de polvo en condiciones de almacenamiento al aire libre, tanto a corto como a largo plazo:

- colocar el eje longitudinal de la pila en dirección paralela a los vientos dominantes;
- colocar plantaciones, vallas o montículos para disminuir la velocidad del viento;
- utilizar una pila en lugar de varias siempre que sea posible. Para una misma cantidad, dos pilas tienen un 26 % más de superficie libre que una;
- utilizar muros de contención para reducir la superficie libre y, en consecuencia, las emisiones difusas de polvo. Esta reducción es óptima cuando el muro se instala a barlovento;
- instalar muros de contención muy juntos entre sí.

En Tabla 4.13 encontrará más detalles.

5.3.2. Almacenamiento confinado

La MTD consiste en utilizar métodos de almacenamiento confinado como, por ejemplo, silos, depósitos, tolvas y contenedores. Cuando no sea posible utilizar silos, una alternativa pueden ser los hangares. Éste sería el caso si, por ejemplo, además del almacenamiento, es necesario mezclar diferentes lotes.

La MTD en el caso de los silos consiste en emplear un diseño adecuado para proporcionarles estabilidad y evitar que puedan derrumbarse. Ver apartados 4.3.4.1 y 4.3.4.5.

La MTD en el caso de los hangares consiste en emplear unos sistemas de ventilación y filtrado con un diseño adecuado, y mantener las puertas cerradas. Ver apartado 4.3.4.2.

La MTD consiste en aplicar técnicas de reducción del polvo y un nivel de emisiones asociado a esta MTD de 1-10 mg/m³, en función de la naturaleza o tipo de sustancia almacenada. El tipo de técnica de reducción se decidirá caso por caso. Ver apartado 4.3.7.

En el caso de los silos que contengan sólidos orgánicos, la MTD consiste en utilizar silos resistentes a las explosiones (ver apartado 4.3.8.3, equipados con válvulas de seguridad que se cierren rápidamente tras la explosión para evitar que entre oxígeno en el silo, tal y como se describe en el apartado 4.3.8.4.

5.3.3. Almacenamiento de sólidos peligrosos embalados

En el apartado 5.1.2 encontrará más detalles sobre las MTD para el almacenamiento de sólidos peligrosos embalados.

5.3.4. Prevención de incidentes y accidentes (graves)

Gestión de la seguridad y del riesgo

La Directiva Seveso II (Directiva 96/82/EC del Consejo de 9 de diciembre de 1996 relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas) exige que las empresas tomen las medidas necesarias para prevenir y limitar las consecuencias de los accidentes graves. Deben establecer, en cualquier caso, una política de prevención de accidentes graves y un sistema de gestión de la seguridad para poner en práctica dicha política. Las empresas que almacenen grandes cantidades de sustancias peligrosas, denominadas establecimientos de nivel superior, deben también elaborar un informe de seguridad y un plan de emergencia interno y llevar un listado actualizado de las sustancias. Sin embargo, las plantas que no se ven afectadas por la Directiva Seveso II también son susceptibles de originar emisiones como consecuencia de algún incidente o accidente. Aplicar un sistema de gestión de la seguridad similar, o quizás un poco menos exigente, sería el primer paso para poder prevenir y limitar las consecuencias de tales sucesos.

La MTD para prevenir incidentes y accidentes consiste en establecer un sistema de gestión de la seguridad tal y como se describe en el apartado 4.1.7.1.

5.4. Transferencia y manipulación de los sólidos

5.4.1. Propuestas generales para minimizar el polvo generado durante la transferencia y la manipulación

La MTD consiste en evitar la dispersión de polvo causada por las actividades de carga y descarga al aire libre realizando dichas actividades, en la medida de lo posible, cuando la velocidad del viento sea más baja. Sin embargo, y teniendo en cuenta que cada lugar tiene sus particularidades, esta medida no se puede ge-

neralizar a toda la UE y a todas las situaciones debido a los elevados costes que puede acarrear. Ver apartado 4.4.3.1.

El transporte discontinuo (por ejemplo con palas o camiones) suele generar más emisiones de polvo que el transporte continuo, como es el caso de las cintas transportadoras. La MTD consiste en reducir al máximo las distancias de transporte y emplear, siempre que sea posible, métodos de transporte continuo. Esta medida puede resultar muy cara en las plantas que ya están instaladas y no disponen de estos medios. Ver apartado 4.4.3.5.1.

Cuando se utilizan palas mecánicas, la MTD consiste en reducir la altura de caída y elegir la mejor posición durante la maniobra de descarga en el camión. Ver apartado 4.4.3.4.

Al circular, los vehículos pueden levantar polvo procedente de los sólidos que hay en el suelo. En este caso, la MTD consiste en moderar la velocidad de los vehículos dentro del recinto para evitar o minimizar la cantidad de polvo levantado. Ver apartado 4.4.3.5.2.

La MTD en las vías utilizadas exclusivamente por camiones y coches consiste en aplicar superficies duras, por ejemplo de hormigón o asfalto, ya que se pueden limpiar fácilmente para evitar que los vehículos levanten polvo. Ver apartado 4.4.3.5.3. Sin embargo, no está justificado aplicar este tipo de superficies cuando por las vías sólo transitan palas mecánicas de gran tonelaje o cuando la vía es temporal.

La MTD consiste en limpiar las vías con superficies duras de acuerdo con el apartado 4.4.6.12.

Limpiar los neumáticos de los vehículos es una MTD. La frecuencia con que se limpian y el tipo de instalación de limpieza (ver apartado 4.4.6.13) se decidirán caso por caso.

Cuando esto no afecta a la calidad del producto, la seguridad de la planta ni los recursos de agua, la MTD para la carga y descarga de productos dispersables y humectables consiste en humedecer el producto tal y como se describe en los apartados 4.4.6.8, 4.4.6.9 y 4.3.6.1. El riesgo de que se congele el producto, el riesgo de crear superficies resbaladizas debido a la formación de hielo o la presencia de producto húmedo en la calzada, y la escasez de agua son ejemplos de casos en los que esta MTD no resultaría aplicable.

Para las actividades de carga y descarga, la MTD consiste en minimizar la velocidad de descenso y la altura de caída libre del producto. Ver apartados 4.4.5.6 y 4.4.5.7 respectivamente. Se puede minimizar la velocidad de descenso con las siguientes técnicas, que son MTD:

- instalar deflectores en el interior de los tubos de llenado;
- instalar un cabezal de carga al final de la conducción para regular la velocidad de salida;
- utilizar una cascada (tolvas o tubos en cascada);
- utilizar un ángulo de pendiente mínimo, por ejemplo mediante rampas.

Para minimizar la altura de caída libre del producto, la salida de descarga debe llegar hasta el fondo del espacio de carga o a ras del material que ya está apilado. Esto se puede llevar a cabo con las siguientes técnicas de carga, que también son MTD:

- tubos de llenado con altura regulable,
- conductos de llenado con altura regulable,
- tubos en cascada con altura regulable.

Estas técnicas son MTD, salvo en las operaciones de carga y descarga de productos no dispersables, en cuyo caso la altura de caída libre no es tan importante.

Existen tolvas de descarga optimizadas, que se describen en el apartado 4.4.6.7.

5.4.2. Consideraciones sobre las técnicas de transferencia

Cucharas

Si se emplean cucharas, la MTD consiste en seguir el diagrama que se muestra en el apartado 4.4.3.2 y dejar la cuchara en la tolva el tiempo necesario una vez descargado el material.

La MTD para cucharas nuevas, consiste en utilizar cucharas con las siguientes características (ver apartado 4.4.5.1):

- forma geométrica y capacidad de carga óptima;
- el volumen de la cuchara debe ser siempre mayor que el que ofrece la curvatura de la cuchara;
- la superficie debe ser lisa para evitar que se adhiera el material;
- debe tener una buena capacidad de cierre en funcionamiento continuo.

Cintas transportadoras y canales de descarga

Para cualquier tipo de sustancia, la MTD consiste en diseñar la cinta transportadora que va hasta los canales de descarga de tal manera que se reduzcan al mínimo los vertidos. Existe un proceso de modelado que permite crear diseños detallados para puntos de transferencia nuevos o para los que ya existen. Encontrará más detalles en el apartado 4.4.5.5.

Para los productos nada o muy poco dispersables (S5) y los productos moderadamente dispersables y humectables (S4), la MTD consiste en utilizar cintas transportadoras abiertas y, además, en función de las circunstancias locales, una o varias de las siguientes técnicas:

- protección lateral contra el viento. Ver apartado 4.4.6.1;
- aspersión de agua y aspersión a presión en los puntos de transferencia. Ver apartados 4.4.6.8 y 4.4.6.9 y/o
- limpiar las cintas transportadoras. Ver apartado 4.4.6.10.

Para los productos muy dispersables (S1 y S2), y los moderadamente dispersables y no humectables (S3), la MTD para nuevas instalaciones consiste en:

utilizar cintas transportadoras cerradas o tipos de cintas que encierren el material ellas mismas o mediante una segunda cinta (ver apartado 4.4.5.2), como por ejemplo:

- cintas transportadoras neumáticas,
- transportadores de cadena en cubeta,
- tornillos sin fin,
- cintas transportadoras de tubo,
- cintas transportadoras colgantes,
- cintas transportadoras dobles,

o utilizar cintas cerradas sin poleas de apoyo (ver apartado 4.4.5.3), como por ejemplo:

- cintas transportadoras sobre colchón de aire,
- cintas transportadoras de baja fricción,
- cintas transportadoras con diábolos.

El tipo de cinta depende de la sustancia que se quiera transportar y de su ubicación, de modo que se tendrá que decidir caso por caso.

En el caso de transportadores convencionales que ya estén instalados y en los que se trasporten productos muy dispersables (S1 y S2) o moderadamente dispersables y no humectables (S3), la MTD consiste en utilizar una cubierta. Ver apartado 4.4.6.2. Cuando se utilizan sistemas de extracción, la MTD consiste en filtrar el flujo de aire que sale. Ver apartado 4.4.6.4.

Para reducir el consumo de energía de las cintas transportadoras (ver apartado 4.4.5.2), la MTD consiste en lo siguiente:

- un buen diseño de la cinta transportadora, sus rodillos y la separación entre los mismos,

- una instalación con tolerancias precisas y
- una cinta con una baja resistencia a la rodadura.

En el anexo 8.4 se describen las categorías de dispersión (S1-S4) de los graneles sólidos.

6. Nuevas técnicas

6.1. Manipulación de sólidos

6.1.1. Tornillo sin fin

Descripción: El tornillo sin fin, al que se refiere este apartado, es un descargador continuo de buques que consta de un dispositivo de recogida helicoidal y un túnel de transporte. La descarga se realiza por lotes y se puede llevar a cabo horizontalmente o girando el brazo móvil. El material lo recoge un sistema de extracción helicoidal y se transporta por un tornillo sin fin hasta la parte superior, donde está el túnel de transporte. El tornillo tiene una longitud de 4 m, de modo que se puede prescindir de sistemas de almacenamiento intermedio. Los cabezales del sistema de extracción helicoidal se introducen en el material, cosa que evita las emisiones de polvo.

El túnel de transporte consta de cuatro cintas transportadoras (cinta de entrada, cinta de transporte y dos cintas laterales) que forman un conducto cerrado. La cinta de entrada y la cinta de transporte se accionan por separado y a la misma velocidad (1 m/s). Las compuertas de entrada son de metal, pero también se pueden emplear plásticos de alto peso molecular. El granel se desliza por los compartimentos inclinados del tornillo y cae en la cinta de entrada. Los puntos de transferencia están equipados con extractores de aire o labios de goma para minimizar las emisiones de polvo.

Para recoger el material restante, se puede instalar algún equipo adicional en el dispositivo de recogida helicoidal o se puede utilizar una cuchara.

El rendimiento máximo es de 1000 a 1200 toneladas por hora, aunque en el futuro seguramente se podrán alcanzar valores de 2000 toneladas por hora. El rendimiento mínimo es de 300 toneladas por hora.

Ventajas:

- es un sistema silencioso, ligero y que no genera polvo;
- un consumo específico de energía relativamente bajo (uso de un tornillo sin fin como transportador vertical);
- estructura de dimensiones reducidas gracias a la combinación de un sistema de transporte helicoidal y una cinta transportadora horizontal;
- descarga por gravedad;
- no necesita almacenamiento intermedio;
- también se puede utilizar para cargar buques.

Desventajas:

- sólo se ha utilizado un prototipo en el puerto de Núremberg;
- se necesitan equipos adicionales para recoger el material restante;
- sólo es adecuado para buques con escotillas anchas.

Aplicabilidad: Esta técnica resulta especialmente conveniente para descargar buques fluviales que transporten carbón a centrales térmicas con conexión portuaria. Las plantas ya instaladas tienen las siguientes opciones:

- sustituir un descargador de cuchara por un tornillo sin fin de forma que se pueda conseguir una mayor capacidad de descarga sin aumentar la carga en el muelle;
- ampliar una planta de transbordo ya existente mediante un tornillo sin fin; la descarga de los buques será más rápida y las emisiones de polvo disminuirán.

Los graneles adecuados para esta aplicación son los formados por partículas finas y secas, en especial el carbón, pero también el grano y los abonos.

Planta de referencia: aunque con éxito, esta técnica de momento sólo se ha utilizado en el puerto de Núremberg para descargar carbón.

Aspectos económicos: La inversión depende del tamaño de los buques, de la altura del agua, de la altura a la que deba elevarse el mecanismo y de las dimensiones del muelle.

Se calcula que los costes de explotación pueden estar entre el 2 y el 3 %, pero tendrán que calcularse específicamente para cada caso.

Efecto cruzado: El consumo de energía para el transporte vertical es de tan sólo 0,0088 kWh por tonelada para una elevación de 1 metro. El consumo de energía de todos los equipos motorizados se calcula en 0,02 kWh por tonelada por 1 metro en el caso del carbón, 0,037 kWh por tonelada por 1 metro en el caso del mineral de zinc y 0,047 kWh por tonelada por 1 metro en el caso de concentrados de mineral de plomo.

Bibliografía de referencia: [17, UBA, 2001].

6.1.2. Contenedores de transbordo de baja emisión de polvo sin extracción por presión negativa

Descripción: La abertura del contenedor de transbordo está equipada con láminas. Cuando la cuchara cargada entra por la abertura, el aire desplazado recircula

hacia la cuchara al vaciarse. Así, el material crea automáticamente una presión negativa en el contenedor al descargarse en un camión. La diferencia de presión evita que el polvo pueda escapar por cualquier hueco que pudiera haber en el elemento de estanqueidad entre la cuchara y la abertura del contenedor. De este modo, el material puede trasladarse de la cuchara al contenedor sin producir polvo y sin necesidad de utilizar más energía.

Están diseñados para incorporar al contenedor de transbordo un tubo de descarga de altura regulable que pueda ajustarse continuamente a la altura de la pila de material en el camión. El tubo de descarga estará dotado de una doble pared para que el aire desplazado, especialmente al llenar buques cisterna, pueda volver a un tubo de recirculación. De esta forma, el aire desplazado se envía de vuelta al contenedor de transbordo. Debido a las propiedades del material (en este caso abonos), todos los elementos que están en contacto directo con el mismo son de acero inoxidable.

Los contenedores de transbordo de baja emisión (por ejemplo, tolvas) que hay en el mercado son muy caros. Están equipados con sistemas de extracción y filtrado del aire, y consumen mucha energía. Así pues, falta en el mercado una oferta de contenedores de transbordo con la tecnología y los precios adecuados para las empresas pequeñas y medianas, que necesitan contenedores con un consumo muy bajo o nulo y que generen muy poco polvo. Por este motivo, el contenedor de transbordo (granelero) antes descrito se está desarrollando para abonos, diseñado para minimizar las emisiones difusas sin ninguna aportación de energía adicional. El desarrollo está patrocinado por la Bundesstiftung Umwelt (Fundación Nacional para el Medio Ambiente).

Ventajas: Se prevé que las emisiones difusas se reducirán al mínimo gracias a la optimización de las mejores tecnologías que existen actualmente (contenedores de transbordo con paneles laterales de gran altura, extracción por presión negativa y trampas de polvo). La ventaja más importante radicaría en una reducción del 100 % de la energía necesaria en comparación con las técnicas actuales.

La inversión y los costes de explotación son menores que con las tolvas (y con una capacidad comparable de reducción del polvo), ya que no se necesitan precipitadores de polvo ni aportes adicionales de energía.

Aplicabilidad: Este sistema se está desarrollando inicialmente para la manipulación de abonos en medianas empresas. También se prevé que tendrá aplicación en la manipulación de otros materiales a granel dispersables.

Bibliografía de referencia: [17, UBA, 2001]

6.1.3. Tornillos sin fin para minerales y concentrados no férreos

Descripción: Los minerales y concentrados de cobre, y otros minerales y concentrados no férreos, especialmente plomo y zinc, actualmente se manipulan con cucharas. Debido a sus propiedades (componentes tóxicos, como el cadmio), el proceso de manipulación tiene que optimizarse aún más mediante el desarrollo de dispositivos de recogida con mejores prestaciones.

Las investigaciones realizadas indican que los elementos cargadores cerrados y continuos (en marcha/parado), como los tornillo sin fin, representan una posible solución. Ya se han realizado pruebas con concentrados de zinc y plomo, en las que se ha utilizado un transportador de recogida helicoidal y un túnel de transporte vertical.

La tendencia de los concentrados a apelmazarse representa un problema que puede provocar acumulaciones de material y, en última instancia, obstrucciones del tornillo sin fin. Por lo tanto, habrá que seguir investigando para encontrar materiales estructurales y de revestimiento más adecuados para el mismo.

Bibliografía de referencia: [17, UBA, 2001]

7. Consideraciones finales

7.1. Calendario de trabajo

Se empezó a trabajar en este BREF a partir de la primera reunión plenaria del GTT realizada en diciembre de 1999. En mayo de 2001, se envió al GTT un primer borrador parcial para consultarles sobre el almacenamiento, transporte y manipulación de líquidos y gases licuados. La consulta sobre el almacenamiento y manipulación de sólidos se envió al GTT en septiembre de 2001. Se evaluaron los comentarios y se incorporaron al documento. A continuación, en julio de 2003, se envió un segundo borrador, esta vez completo, con propuestas de conclusiones sobre las MTD. La última reunión plenaria del GTT se celebró en mayo de 2004, tras la cual se abrió un breve período de consultas sobre el capítulo revisado sobre MTD, los capítulos revisados del 1 al 4, el párrafo de introducción sobre la metodología en el capítulo 5, el capítulo de conclusiones y el resumen. La revisión final se realizó a partir de estas consultas.

7.2. Fuentes de información

Como fuente de información para la elaboración del presente BREF, se utilizaron varios informes del sector industrial y de las autoridades de los Estados miembros. Los informes presentados por la TETSP [84, TETSP, 2001, 113, TETSP, 2001] y Alemania [18, UBA, 1999] pueden considerarse los cimientos a partir de los cuales se han elaborado los apartados sobre tanques de almacenamiento. La TETSP desarrolló y facilitó una metodología para evaluar las medidas de control de las emisiones. Para el almacenamiento de materiales peligrosos embalados, se contó con las directrices existentes enviadas por los Países Bajos [3, CPR, 1984, 8, CPR, 1991] y el Reino Unido [35, HSE, 1998, 36, HSE, 1998] y, para el almacenamiento en cavidades, mucha de la información se obtuvo de la industria, principalmente Neste [81, Neste Engineering, 1996] y Geostock [150, Geostock, 2002]. El informe presentado por Alemania [17, UBA, 2001] es la piedra angular del almacenamiento y manipulación de sólidos, complementado con información aportada por los Países Bajos [15, InfoMil, 2001, 164, DCMR, 2003], la industria [74, Corus, 2002] y los proveedores. Estos informes, directrices e información adicional se complementaron con información recibida en las reuniones, normalmente en combinación con visitas a plantas de España, Finlandia, los Países Bajos, Alemania, Bélgica, el Reino Unido y Francia. Las consultas formales sobre el borrador también dieron lugar a más información y ofrecieron al GTT la oportunidad de comprobar la información que ya se había presentado.

7.3. Grado de consenso alcanzado

En la última reunión plenaria, celebrada en mayo de 2004, se acordaron las conclusiones sobre el trabajo realizado y se alcanzó un consenso en la mayoría de los temas debatidos. Los principales puntos que se trataron en la última reunión fueron los siguientes:

- la metodología de evaluación (medidas de control de emisiones) frente a las conclusiones concretas de las MTD,
- control de los COV,
- sistemas de estanqueidad y techos flotantes internos y externos,
- compensación y tratamiento del vapor en las emisiones de los tanques,
- compensación y tratamiento del vapor en las emisiones causadas por las actividades de carga y descarga,
- un planteamiento de las emisiones de los tanques al suelo basado en los riesgos,
- prevención de las emisiones de polvo en el almacenamiento al aire libre a corto y largo plazo,
- aspersión de agua en las calzadas y durante las actividades de carga y descarga,
- altura de caída y velocidad de los materiales sólidos durante las actividades de carga y descarga.

En el debate sobre la metodología de evaluación, la TETSP propuso que, dado que la mayoría de los tanques presentan diferencias a causa de su diseño, el producto almacenado, la ubicación, etc., las conclusiones detalladas sobre las MTD deberían sustituirse por una declaración en la que se diga que las MTD pueden determinarse aplicando la metodología de evaluación. Según el parecer de otros miembros del GTT, aplicar la metodología de evaluación no es un método válido para definir MTD generales, por lo que el BREF debería ofrecer unas descripciones claras de las MTD. En la última reunión, el GTT convino que las conclusiones sobre las MTD aportadas en el BREF deberían ser descripciones claras de las técnicas o planteamientos propuestos, y que la metodología de evaluación debería describirse en el capítulo 4, junto con un párrafo de introducción en el capítulo 5. Así pues, quedó claro que la metodología en sí no es una MTD. Sin embargo, puede servir de herramienta tanto a empresas como a los encargados de conceder los permisos a la hora de evaluar las medidas de control de las emisiones (MCE) que se describen en el capítulo 4 y para las cuales el capítulo 5 propone unos niveles genéricos de MTD, de forma que se pueda decidir qué MCE o combinación de MCE cumplen estos niveles genéricos o, simplemente, funcionan mejor en el almacenamiento de líquidos y gas licuado en una determinada situación. Algunos Estados miembros han expresado importantes reservas acerca de la metodología de evaluación propuesta, tanto mediante comentarios orales como por escrito, antes y durante la última reunión del GTT, reservas que han dado lugar a puntos de vista dispares sobre la metodología del capítulo 5.

Tras la segunda reunión, se presentó al GTT el nuevo apartado del capítulo 4 sobre la metodología de evaluación, junto con las reservas planteadas acerca de esta metodología y el párrafo de introducción del capítulo 5, para que pudieran comprobar si los cambios practicados reflejaban el debate que tuvo lugar en la última reunión. La mayoría de los miembros del GTT dieron el visto bueno a los cambios, aunque algunos Estados miembros no estuvieron de acuerdo, ya que, en su opinión, los comentarios no se plasmaron íntegra y adecuadamente, por lo que querían eliminar el párrafo de introducción del capítulo 5 y que se hicieran constar literalmente sus reservas acerca de la metodología en el capítulo 4. Sin embargo, la EIPPCB tiene la responsabilidad de validar la información y puntos de vista, y plasmarlos en el BREF mediante declaraciones y hechos objetivos, así como garantizar que el BREF mantiene una coherencia. Por ello, transcribir un texto en un BREF literalmente no se puede considerar admisible, a menos que exista una divergencia de opiniones. En el caso que nos ocupa, esta divergencia es la siguiente:

«Existe una divergencia de opiniones entre algunos Estados miembros en cuanto a si la metodología de MCE puede resultar adecuada y práctica a la hora de determinar las MTD. En concreto, se aduce que la metodología:

- no es una MTD, cosa en la que estuvo de acuerdo todo el GTT. Además, la metodología no se ajusta a los requisitos sobre MTD contemplados en el *BREF Outline and Guide*;
- no ha sido probada en la práctica por las autoridades competentes;
- no permite extraer conclusiones a escala europea ni sectorial acerca de las MTD para sustancias con determinadas propiedades;
- no ofrece la posibilidad de armonización de las MTD en Europa».

Otra divergencia, apoyada por tres Estados miembros y relacionada con la conclusión sobre MTD acerca del control de las emisiones de COV, está en el hecho de que el sistema *lidar* de absorción diferencial (DIAL) puede servir para medir las emisiones de COV, lo cual no se menciona en las conclusiones. La conclusión sobre las MTD del capítulo 5 es que: «En los lugares en que se prevea una cantidad importante de emisiones de COV, la MTD incluye calcular las emisiones de COV de forma periódica. Ocasionalmente, será necesario validar el modelo de cálculo aplicando un método de medición. Ver apartado 4.1.2.2.3 ». Es únicamente en este apartado 4.1.2.2.3 donde se hace referencia al sistema DIAL.

Las últimas tres divergencias de opiniones son idénticas y las planteó el sector industrial. Las divergencias surgen sobre tres conclusiones similares sobre las MTD, a saber, que la MTD consiste en emplear una instalación de tratamiento de gases para el almacenamiento de sustancias volátiles tóxicas (T), muy tóxicas (T+) o CMR de las categorías 1 y 2. Esta MTD resulta relevante para tres tipos diferentes de tanques, que son los de techo fijo, los horizontales y subterráneos

atmosféricos, así como los tanques cubiertos de tierra. En su opinión, esta técnica no puede considerarse una MTD por los siguientes motivos:

- a) *este BREF no contiene una definición de «volátil»;*
- b) *no existe ninguna prueba relevante desde el punto de vista medioambiental;*
- c) *no se capturan productos que, a pesar de no estar clasificados como tóxicos, pueden representar un peligro para el medio ambiente;*
- d) *se puede demostrar que existen otras medidas de control de las emisiones que ofrecen mayores niveles de protección medioambiental teniendo en cuenta los costes y las ventajas de las diversas técnicas;*
- e) *no existe ningún criterio de común aceptación sobre el rendimiento de una instalación de tratamiento de gases;*
- f) *no se tienen en cuenta los costes ni las ventajas de otras técnicas;*
- g) *no ofrece la flexibilidad necesaria para tener en cuenta las características técnicas de la instalación en cuestión, su ubicación geográfica ni las condiciones ambientales locales;*
- h) *la conclusión no tiene proporcionalidad.*

El GTT admitió las restantes 110 conclusiones sobre las MTD y no se produjo ninguna otra divergencia. Concretamente, el GTT admitió todas las conclusiones sobre las MTD en lo relacionado con el almacenamiento y manipulación de sólidos. Así pues, en general, se puede concluir que el grado de consenso alcanzado fue muy alto.

Sin embargo, en la reunión celebrada los días 20 y 21 de diciembre de 2004 en Bruselas con ocasión del Foro de Intercambio de Información (IEF), se acordó añadir la siguiente divergencia general: «Algunos Estados miembros no están de acuerdo con las conclusiones sobre las MTD del capítulo 5 porque, en su opinión, se insiste demasiado en que la MTD se determine localmente caso por caso. En su opinión, el BREF no aporta unas conclusiones claras para toda Europa en cuanto a qué MTD facilitarían una mayor armonización de las normas a escala europea. En particular, preferirían que estas normas se basaran en su peligro potencial y en la cantidad de materiales manipulados».

7.4. Recomendaciones para próximos trabajos

Desde el comienzo del proceso de elaboración de este BREF, quedó claro que sería más fácil abordar el problema del almacenamiento de todas las sustancias peligrosas que se almacenan en la amplia variedad de industrias afectadas por la Directiva PCIC si se pudiera adoptar algún tipo de sistema de clasificación que se pudiera emplear para elaborar este BREF. Sin embargo, Europa no dispone de ningún sistema de clasificación para los contaminantes atmosféricos. Aunque Alemania y los Países Bajos aportaron ejemplos de los sistemas de clasificación

que utilizan en sus respectivos países, el GTT no consiguió alcanzar un consenso en cuanto al uso de esta información en lo relativo al almacenamiento y manipulación de líquidos y gases licuados. No obstante, en este BREF se convino emplear el sistema de clasificación de categorías de dispersión para sólidos que se utiliza en los Países Bajos, lo cual facilitó considerablemente el debate y la elaboración de las conclusiones sobre las MTD.

Aunque establecer un sistema consensuado a escala europea para la clasificación de los contaminantes atmosféricos no justificaría una revisión de un BREF, dicho sistema podría resultar de gran valor a la hora de desarrollar las MTD relativas a las emisiones procedentes del almacenamiento. Dicho sistema sería muy útil para saber cuándo una emisión puede calificarse de *importante*, porque esto depende de la cantidad emitida en relación con las propiedades de la sustancia. Éste sería un ejemplo de por qué este GTT no fue capaz de consensuar para qué emisiones la utilización de algún tipo de tratamiento de gases sería una MTD. Sabedores de que sería un proceso complejo y lento, se ha hecho una recomendación a la DG Medio Ambiente para que estudie esta iniciativa.

Durante la elaboración de este BREF, se hizo patente que el almacenamiento y la manipulación de líquidos y gases licuados y el almacenamiento y manipulación de sólidos son dos cosas completamente diferentes que requieren técnicas específicas. Al revisar el BREF, se recomendó separar estos temas para promover la eficiencia de las reuniones y conseguir un intercambio más fluido de la información.

En este GTT, no se llegó a ningún consenso sobre la forma de controlar las emisiones de COV y cómo validar este proceso. Normalmente estas emisiones se calculan siguiendo un modelo que se puede validar aplicando un método de medición, como por ejemplo el DIAL. El sistema DIAL se utiliza habitualmente en Suecia para controlar las emisiones procedentes de tanques en los que se almacenan hidrocarburos en las refinerías y terminales petrolíferas, pero no existe suficiente información sobre el uso del DIAL en otras instalaciones y países. En la revisión de este BREF, se recomienda recopilar más información sobre el control de las emisiones de COV.

En el apartado 4.1.6.1.8 se discute el planteamiento de las emisiones de los tanques al suelo basado en los riesgos. Al respecto, el GTT acordó que se trataba de una MTD. Sin embargo, en la última reunión se concluyó que sería conveniente actualizar las técnicas mencionadas en Tabla 4.5, donde se listan las técnicas para evitar o reducir las emisiones. En la práctica, se trata de una petición dirigida a los Países Bajos, ya que la tabla y el planteamiento fueron propuestos por este país.

El texto actual del apartado 4.2.8 sobre la carga y descarga de los dispositivos de transporte fue propuesto por la TETSP tras la última reunión y, por lo tanto, no hubo muchas posibilidades de que todo el GTT realizara una revisión parita-

ria. Durante y después de la reunión, no se alcanzó el consenso en cuanto a la conclusión sobre las MTD de este tema. Sin embargo, se reconoció que la carga y descarga de dispositivos de transporte es una fuente potencial de emisiones que debería estudiarse. Por lo tanto, se recomienda que, para la revisión de este BREF, se recoja más información sobre esta actividad, especialmente en lo relativo a los datos, costes y rentabilidad, así como a las técnicas empleadas.

El GTT reconoce que las autoridades competentes en materia de permisos no han probado en la práctica la metodología de evaluación descrita en el apartado 4.1.1. Por ello se recomienda recopilar más información, sobre todo de estas autoridades, sobre el uso de la metodología de cara a la próxima revisión del BREF.

7.5. Temas propuestos para próximos proyectos de I+D

A través de sus programas de IDT, la CE pone en marcha y apoya proyectos relacionados con las tecnologías limpias, nuevas tecnologías de tratamiento y reciclaje de efluentes, y estrategias de gestión, ya que estos proyectos podrían dar lugar a aportaciones muy útiles en las próximas revisiones del BREF. Así pues, el lector está invitado a informar a la EIPPCB de los resultados de cualquier investigación que resulte de interés para este documento (véase también el prólogo de este documento).

Los siguientes temas pueden ser objeto de próximos proyectos de investigación y desarrollo:

- métodos económicos de medición de las emisiones de COV,
- sistemas de transporte cerrados.

Referencias

- 1 CPR (1993). «CPR 9-1: Vloeibare aardolieproducten; ondergrondse opslag in stalen tanks en afleverinstallaties voor motorbrandstof, opslag in grondwaterbeschermingsgebieden», vijfde druk.
- 3 CPR (1984). «CPR 9-3: Vloeibare aardolieproducten; bovengrondse opslag grote installaties».
- 6 CPR (1992). «CPR 15-3E: Storage of pesticides in distribution and related enterprises (in excess of 400 kg.)», first edition.
- 7 CPR (1992). «CPR 15-1E: Storage of packaged hazardous materials; storage of liquids and solids (0-10 tons)», first edition.
- 8 CPR (1991). «CPR 15-2E: Storage of packaged hazardous materials, chemical waste and pesticides; storage of large quantities», first edition.
- 15 InfoMil (2001). «NeR; Netherlands Emission Regulations».
- 16 Concawe (1995). «VOC emissions from external floating roof tanks: comparison of temote measurements by laser with calculation methods.», 95/52.
- 17 UBA, G. (2001). «Emissions from dusty bulk materials», FKZ 299 94 304.
- 18 UBA, G. (1999). «draft BAT on Emissions from storage of dangerous substances», BATGer.doc, Draft E8.
- 24 IFA/EFMA (1992). «handbook for the safe storage of ammonium nitrate based fertilizers».
- 25 IFA/EFMA (1990). «Recommendations for safe storage and handling of wet process phosphoric acid».
- 26 UNIDO-IFDC (1998). «Transportation and Storage of Ammonia», Fertilizers Manual.
- 28 HMSO (1990). «Bulk Storage Installations», Process Guidance Note IPR 4/17.
- 35 HSE (1998). «Chemical warehousing; the storage of packaged dangerous substances», HSE Books, 0 7176 1484 0.
- 36 HSE (1998). «The storage of flammable liquids in containers», HSE Books, 0 7176 1471 9.

- 37 HSE (1998). «The storage of flammable liquids in tanks», HSE Books, 0 7176 1470 0.
- 41 Concawe (1999). «draft BAT Storage for Crude Oil».
- 43 Austria, U. (1991). «Austrian legislation», Bundesgesetzblätter für die Republik Österreich.
- 45 Vlaanderen «Vlaem I and II: Besluit van de Vlaamse Regering houdende vaststelling van het Vlaamse reglement betreffende de milieuvergunning en algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiene.», relevante milieuwetgeving in Vlaanderen.
- 50 EuroChlor (1993). «Pressure Storage of Liquid Chlorine», GEST 72/10 8th edition.
- 51 EuroChlor (1996). «Low pressure storage of liquid chlorine», GEST 73/17 5th edition.
- 52 Staatliches Umweltamt Duisburg (2000). «Stand der Technik zur Emissionminderung beim Umgang mit staubenden Gütern.».
- 58 KWS2000 (1991). «Efficiente seals voor uitwendig drijvende daken (EFR)», Factsheet KWS2000.
- 66 EPA (1997). «Compilation of Air Pollutant Emission Factors AP-42, Fifth Edition, Volume I Stationary Point and Area Sources; Chapter 7, Liquid Storage Tanks, Supplement D», www.epa.gov/ttn/chief/ap42.html.
- 74 Corus (2002). «Comments on first draft BREF, solids part», personal communication.
- 78 DCMR Milieudienst Rijnmond (1995). «Onderzoek naar nieuwe stofbestrijdingstechnieken», ROM Project D.7.2.
- 79 BoBo (1999). «Richtlijn bodembescherming, eindrapport richtlijn bodembescherming voor atmosferische bovengrondse opslag tanks.», EBB/juli 1999.
- 81 Neste Engineering (1996). «Neste. Underground caverns, oil storage technology, implementation and operations expert.», VAT NO FI15406185.
- 84 TETSP (2001). «Best Available Techniques Reference Document on Emissions from Storage, Version TETSP».

-
- 86 EEMUA (1999). «Guide for the prevention of bottom leakage from vertical, cylindrical, steel storage tanks», Publicationnr. 183 : 1999.
- 87 TETSP (2001). «Input TETSP.doc», personal communication.
- 89 Associazione Italiana Technico Economica del Cemento (2000). «The best available techniques for stockpiling raw materials, clinker, cement, fuels and wastes for material or energy recovery in plants for the production of hydraulic binder».
- 91 Meyer and Eickelpasch (1999). «Konstruktionsmethodik für minimale freie Oberflächen bei Verarbeitung, Transport und Lagerung von Schüttgütern», Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 3-89701-288-X.
- 110 KWS2000 (1992). «Inwendige drijvende dekken: constructie», 12.
- 113 TETSP (2001). «Comments draft May 2001 and August 2002».
- 114 UBA (2001). «Comments draft 1 liquid, copies for 6a-d».
- 116 Associazione Italiana Commercio Chimico (2001). «Draft Best Available Techniques Reference Document on Emissions from Storage of the Chemical Distribution».
- 117 Verband Chemiehandel (1997). «Leitfaden zur sicheren Lagerung von Chemikalien im Chemiehandelsbetrieb».
- 118 RIVM (2001). «SERIDA - Safety Environmental RIsk DAtabase», <http://www.rivm.nl/serida/>.
- 119 EIPPCB (2001). «Best Available Techniques Reference Document on the Intensive Rearing of Poultry and Pigs, Draft Dated July 2001».
- 120 VROM (1999). «Safety policy for companies with large amounts of dangerous substances; The Seveso II Directive and the Hazards of Major Accidents Decree 1999», The Hazards of Major Accidents Decree 1999.
- 121 CIWM (1999). «PROTEUS», <http://www.riskanalysis.nl/proteus/>.
- 122 JPM Ingenieurstechnik GMBH (2002). «Studie Tassentanks, Informationsunterlagen», personal communication.
- 123 Provincie Zeeland (2002). «Verslag bezoek aan terminal van Oiltanking te Gera (D)», personal communication.

- 124 Oiltanking (2002). «CPR 9-3 versus TRbF, veiligheidsaspecten van ringmanteltanks», 3312001.
- 125 Oiltanking (2002). «Fixed roof tank with cup-tank», personal communication.
- 126 Walter Ludwig (2001). «Double skin tanks with bottom outlet».
- 127 Agrar (2001). «IVA-Leitlinie, Sichere Lagerung von Pflanzenschutz- und Schadlingsbekämpfungsmitteln».
- 129 VROM and EZ (1989). «Milieubedrijfstatstudie, hoofdstuk 5».
- 130 VROM (2002). «Proposal for Chapter 5 BAT-Document “Emissions from Storage”», personal communication.
- 131 W-G Seals Inc. (2002). «W-G Seals, Inc.», <http://ww.ctcn.net/~wgseals/index.htm#home>.
- 132 Arthur D. Little Limited (2001). «MBTE and the Requirements for Underground Storage Tank Construction and Operation in Member States, A Report to the European Commission», ENV.D.1/ETU/2000/0089R.
- 133 OSPAR (1998). «OSPAR Recommendation 98/1 concerning BAT on Best Environmental Practice for the Primary Non-Ferrous Metal Industry (Zinc, Copper, Lead and Nickel Works)», 98/14/1-E, Annex 41.
- 134 Corus (1995). «Combats dust from open sources».
- 135 C.M. Bidgood and P.F. Nolan (1995). «Warehouse fires in the UK involving solid materials», J. Loss Prev. Process Ind.
- 137 suppliers information (2002). «Extending the Scope of Continuous Vertical Conveyor Systems by Employing Steel and Aramid High-Strength Tension Members», Bulk solids handling.
- 138 suppliers information (2001). «Space-Restricted In-Plant Bulk Solids Elevating», Bulk solids handling.
- 139 suppliers information (2001). «Limestone and Gypsum Handling Using the New Pipe Conveyor», Bulk solids handling.
- 140 suppliers information (2001). «Energy Efficient Belt Conveyor at BHP Gregory/Crinum», Bulk solids handling.

-
- 141 suppliers information (2001). «The Waihi Gold Mine Materials Handling Plant Upgrade», Bulk solids handling.
- 142 Martin Engineering (2001). «Transfer Chute Design for Modern Materials Handling Operations», Bulk solids handling.
- 143 suppliers information (2001). «Druckstossfeste Siloanlage», Schuttgut.
- 145 Hoerbicher (2001). «Effizienter Explosionsschutz mit Entlastungsventilen», Schuttgut.
- 147 EIPPCB (2002). «Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste Water and Waste Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector».
- 148 VDI-Verlag, G. (1994). «VDI-Lexikon Umwelttechnik / hrsg. von Franz Joseph Dreyhaupt», Lexikon Umwelttechnik.
- 149 ESA (2004). «Sealing technology - BAT guidance notes», ESA Publication No. 014/07 - draft 7.
- 150 Geostock (2002). «Revision to the sections on caverns and salt domes provided by Geostock».
- 151 TETSP (2002). «TETSP Leak Detection (13.9.02)».
- 152 TETSP (2002). «Transfer and handling of liquids and liquefied gases».
- 153 TETSP (2002). «Comparison of VOC Emission Recovery and Abatement Processes Described With Those Applicable For Gasoline Storage Tank Emission Control».
- 154 TETSP (2002). «Compatibility of ECMs for gas emissions (operational)».
- 156 ECSA (2000). «Storage and Handling of Chlorinated Solvents».
- 157 VDI (2001). «Emissionsminderung Raffinerieferne Mineralöltanklager», VDI 3479 entwurf.
- 158 EIPPCB (2002). «Reference document on the general principles of monitoring».
- 159 DCMR/VOPAK (2000). «Note of workshop “0-emission terminal”».

- 160 Sidoma Systeme GmbH (2003). «Double wall storage tank with monitored bottom discharge».
- 162 GRS Europe (2002). «Gas Recovery Systems Europe».
- 163 Cefic (2002). «Silos and hoppers».
- 164 DCMR (2003). «Proposal for BAT Reference document on Storage, Chapter V (BAT)».
- 166 EEMUA (2003). «Users'guide to the inspection, maintenance and repair of aboveground vertical cylindrical steel storage tanks, (EEMUA 159)», 159.
- 175 TWG (2003). «Master Comments draft 2 Storage BREF».
- 176 EIPPCB Ineke Jansen (2004). «Background paper for second technical working group meeting, Sevilla 10-12 May 2004».
- 178 Länsstyrelsen Västra Götaland (2003). «Fugitive VOC-emissions measured at Oil Refineries in the Province of Västra Götaland in Wouth West Sweden», written by Lennart Frisch at consulting bureau Agenda Enviro AB, 2003:56.
- 179 UBA Germany (2004). «German remarks/proposals/reasonings on the split views of the 2nd TWG meeting», personal communication.
- 180 Netherlands (2004). «Views concerning the content of the final BREF», InfoMil, personal communication.
- 183 EIPPCB (2004). «Conclusions of the 2nd TWG meeting on emissions from storage, 10, 11 and 12 May 2004», EC, personal communication.
- 184 TETSP (2004). «Loading and unloading of transporters», personal communication.
- 185 UBA Germany (2004). «Pictures of floating roofs, seals and diagrammes on efficiencies of floating roofs», personal communication.

Glosario

Definición de los diferentes tipos de sustancias.

Sustancia combustible:

Sustancia que reacciona con el aire de la atmósfera en condiciones de composición y presión normales, incluso después de desaparecer la fuente de ignición.

Sustancia cancerígena:

Sustancia que se ha demostrado que causa cáncer en los humanos.

Sustancia corrosiva:

Sustancia que, al entrar en contacto con la piel, destruye los tejidos vivos.

Sustancia explosiva:

Sustancia que es susceptible de explotar cuando entra en contacto con una llama o que es más sensible a los impactos y fricciones que el nitrobenzeno.

Sustancia irritante:

Sustancia que, al estar en contacto directo, prolongado o repetido con la piel o las mucosas puede causar una infección.

Sustancia fácilmente inflamable es aquella que:

- cuando se expone al aire de la atmósfera en condiciones normales de temperatura, puede aumentar de temperatura hasta inflamarse sin necesidad de un aporte adicional de energía;
- en estado sólido, cuando se somete a una fuente de ignición durante un período breve de tiempo, puede inflamarse fácilmente y seguir ardiendo, con o sin llama, una vez retirada la fuente de ignición;
- en estado líquido, posee un punto de inflamación inferior a 21 °C;
- en estado gaseoso y en condiciones normales de presión, puede inflamarse en contacto con el aire; o
- en contacto con el agua o aire húmedo, desprende gases fácilmente inflamables en cantidades peligrosas (una sustancia que desprende gases fácilmente inflamables cuando entra en contacto con el agua).

Sustancia nociva para el medio ambiente:

Sustancia que puede causar perjuicios graves y duraderos en un ecosistema; la clasificación de las sustancias nocivas para el medio ambiente se realiza de acuerdo con los acuerdos contemplados en la Directiva 67/548/CEE.

Sustancia mutagénica:

Sustancia que se ha demostrado que causa alteraciones en la estructura del ADN.

Sustancia inflamable:

Sustancia que, en estado líquido, posee un punto de inflamación comprendido entre los 21 °C y los 55 °C.

Comburente:

Sustancia que puede provocar una reacción altamente exotérmica al entrar en contacto con otras sustancias, especialmente las inflamables.

Sustancia nociva:

Sustancia que puede causar trastornos de naturaleza limitada al inhalarse, ingerirse o entrar en contacto con la piel.

Sustancia teratogénica:

Sustancia que se ha demostrado que puede tener efectos teratogénicos en los humanos.

Sustancia tóxica:

Sustancia que puede causar trastornos peligrosos graves, agudos o crónicos, e incluso la muerte, al inhalarse, ingerirse o entrar en contacto con la piel.

Sustancia muy tóxica:

Sustancia que puede causar trastornos peligrosos muy graves, agudos o crónicos, e incluso la muerte, al inhalarse, ingerirse o entrar en contacto con la piel.

Dispersibilidad (para sólidos):

La propensión de un sólido a ser dispersado por el viento.

Definiciones relacionadas con el almacenamiento y manipulación de líquidos y gases licuados.

Operativas: Emisiones causadas por las actividades operativas normales. La frecuencia, volúmenes y cargas se suelen conocer de antemano o se pueden calcular y, en algunos casos, programar según un horario. Esto puede servir para determinar la mejor relación entre la inversión y la eficiencia a la hora de establecer la prioridad de las inversiones y determinar las técnicas aplicables que consigan una mayor reducción de las emisiones. Las emisiones fugitivas y los alivios de presión se consideran emisiones operativas, ya que se producen en circunstancias operativas normales.

Incidentes: Las emisiones causadas por incidentes son aquellas que se derivan de un fallo en los sistemas de protección o un error humano. Los volúmenes y frecuencias no son predecibles y, por tanto, sólo se pueden aplicar medidas paliativas.

- En reposo:** Volumen de un producto almacenado en un tanque que no se hace circular ni se bombea.
- Pérdidas por evaporación:** Emisión gaseosa causada por un cambio de la temperatura ambiente, normalmente por el calentamiento diurno del contenido de los tanques (que transpiran debido al aumento de volumen del gas y la evaporación de líquido). El fenómeno contrario, pérdidas por condensación, que se produce al enfriarse el contenido (durante la noche el volumen del gas disminuye y los vapores se condensan), no se considera una fuente de emisiones.
- Relleno:** Corriente líquida que sustituye el contenido de vapor de un sistema.
- Vaciado (de un tanque):** Extraer (una parte de) el contenido líquido de un sistema (p ej. en tanques de techo flotante externo).
- Purga:** Sustitución del contenido gaseoso de un sistema por aire o gases inertes.
- Sondeo manual:** Método para medir la profundidad del líquido de un tanque. Normalmente se realiza introduciendo una sonda graduada por una abertura del techo del tanque.
- Muestreo:** Extraer una cantidad pequeña, pero representativa, del líquido de un sistema para efectuar pruebas. Normalmente se realiza abriendo válvulas que están directamente conectadas al sistema principal y recogiendo la muestra de líquido en un sistema de recogida abierto o semicerrado.
- Rebosamiento:** Vertido de líquido causado al llenar demasiado un sistema por un fallo de los sistemas contra rebosamientos.
- Fuga:** Escape de un gas o un líquido fuera de un sistema o equipo debido a un fallo de los mismos.
- Limpieza:** Retirar el contenido líquido o gaseoso de un sistema vaciándolo, enjuagándolo, rascándolo, purgándolo, etc., para prepararlo para las actividades de mantenimiento o inspección o para introducir otros productos. Suele producir un (pequeño) flujo de residuos líquidos.
- Rascado de tuberías:** Eliminar el contenido de una tubería por medio de un dispositivo que se empuja por ella gracias a un medio o producto inerte

y que rasca el interior de la tubería, con lo cual se expulsan los restos que puedan quedar. Esto puede producir vertidos líquidos o gaseosos en el punto de salida del sistema.

(Des)conectar: Conectar un sistema de transferencia a un tanque, a un sistema de (des)carga o a otro sistema de transferencia por medio de conexiones amovibles (adaptadores de tubería bridados, etc.). Pueden producirse emisiones de líquidos o gases al instalar o desinstalar una conexión.

(Des)acoplamiento: Conectar un sistema de transferencia a un tanque o a un sistema de (des)carga (sistemas de contención de líquidos o gases, como por ejemplo camiones, buques, contenedores ISO, etc.) por medio de brazos o mangueras de carga diseñados específicamente para este fin. Pueden producirse emisiones de líquidos o gases al instalar o desinstalar una conexión.

Emisiones fugitivas: Emisiones de gas procedentes de componentes del sistema (juntas de las bombas, juntas mecánicas, prensaestopas, etc.), normalmente por la permeación de los gases a través de una unión realizada con pernos.

Drenar: Vaciar el contenido líquido de un sistema en otro sistema de recogida u otro sistema de almacenamiento, lo cual puede producir un flujo de residuos líquidos.

Válvula de seguridad: Mecanismo que evita que un sistema que contiene un líquido (o un gas) supere su presión máxima a causa del aumento de la temperatura ambiente durante el día. Su funcionamiento suele consistir en liberar cierta cantidad de líquido del sistema a otro sistema de recogida.

Capacidad disponible: Espacio no ocupado por el producto en el interior de un tanque.

Golpe de ariete: Aumento momentáneo de la presión que se produce en un sistema acuoso al cambiar bruscamente la dirección o la velocidad del agua. Cuando se cierra rápidamente una válvula de una conducción, el agua deja bruscamente de fluir y la energía de presión se transfiere a la válvula y a las paredes del conducto. Esto crea en el interior del sistema una serie de ondas de choque. La presión retrocede hasta que topa con un obstáculo sólido y luego rebota en sentido contrario. La velocidad de la onda de presión es igual a la velocidad del sonido, por lo que

se escuchan los golpes que va dando al rebotar hasta que, finalmente, la energía se disipa por la fricción. Encontrará más detalles en: http://www.nesc.wvu.edu/ndwc/articles/OT/WI03/Water_Hammer.html

Definiciones generales.

Sobreestadía: Incapacidad para cargar o descargar un buque fletado en el plazo de tiempo acordado con el armador; indemnización que el fletador deberá pagar al armador por dicho retraso. En francés es *surestaries*.

Siglas.

AP-42:	Publicación de la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA): <i>Compilation of Air Pollutant Emission Factors</i> , que se puede encontrar en su sitio web: http://www.epa.gov/ttn/chieff/index.html . El capítulo 7 de AP-42 trata sobre el almacenamiento. El software EPA TANKS contiene los algoritmos descritos en ese capítulo.
MTD:	Mejores técnicas disponibles.
BLEVE:	Explosión de los vapores de expansión de un líquido en ebullición.
CAPEX:	Gastos de capital.
CEFIC:	Consejo Europeo de la Industria Química.
CONCAWE:	Asociación europea de compañías petrolíferas para la investigación sobre salud, seguridad y medio ambiente.
CMR:	Cancerígeno, mutágeno o tóxico para la reproducción.
BREF CWW:	BREF relativo a la gestión y tratamiento común de aguas y gases residuales en la industria química.
TFE:	Techo flotante externo.
TTFE:	Tanque de techo flotante externo.
MCE:	Medidas de control de las emisiones.
EPA:	Agencia de Protección Ambiental de EE. UU.
FECC:	Asociación europea de distribuidores de productos químicos.
FETSA:	Federación de asociaciones europeas de almacenamiento de tanques.
DGC:	Desulfuración de gases de combustión.
PRFV:	Poliéster reforzado con fibra de vidrio.
TTF:	Tanque de techo fijo.
PEAD:	Polietileno de alta densidad.
TFI:	Techo flotante interno.
TTFI:	Tanque de techo flotante interno.
LECA:	Arcilla expandida.

GLP:	Gas licuado de petróleo.
MTBE:	Éter metil-ter-butílico.
OPEX:	Gastos de explotación.
PTFE:	Politetrafluoretileno.
VSPV:	Válvula de seguridad de presión/vacío.
TEQ:	Equivalente tóxico.
TETSP:	Technical European Tank Storage Platform; formada por: CEFIC, CONCAWE, FETSA y FECC.
VDI:	Verein Deutscher Ingenieure.
COV:	Compuesto orgánico volátil.
URV:	Unidad de recuperación de vapor.

Unidades medidas y símbolos comunes.

TÉRMINO	SIGNIFICADO
atm	presión atmosférica normal (1 atm = 101 325 N/m ²)
bar	bar (1,013 bar = 1 atm)
barg	presión relativa (bar + 1 atm)
°C	grados Celsius
cm	centímetro
d	día
g	gramo
GJ	gigajulio
h	hora
J	julio
K	Kelvin (0 °C = 273,15 K)
kcal	kilocaloría (1 kcal = 4,19 kJ)
kg	kilogramo (1 kg = 1000 g)
kJ	kilojulio (1 kJ = 0,24 kcal)
kPa	kilopascal
kt	kilotonelada
kWh	kilovatio hora (1 kWh = 3600 kJ = 3,6 MJ)
l	litro
m	metro
m ²	metro cuadrado
m ³	metro cúbico
mbar	milibar (1 mbar = 10 ⁻³ bar)
mg	miligramo (1 mg = 10 ⁻³ gramos)
MJ	megajulio (1 MJ = 1000 kJ = 10 ⁶ julios)
mm	milímetro (1 mm = 10 ⁻³ m)
m/min	metros por minuto
mmWG	milímetros de agua relativos

TÉRMINO	SIGNIFICADO
Mt	megatonelada (1 Mt = 10 ⁶ toneladas)
Mt/año	megatoneladas al año
MW _e	megavatios eléctricos (energía)
MW _t	megavatios térmicos (energía)
ng	nanogramo (1 ng = 10 ⁻⁹ gramos)
Nm ³	metro cúbico normal (101 325 kPa, 273 K)
Pa	pascal
ppb	partes por billón
ppm	partes por millón (en peso)
s	segundo
t	tonelada métrica (1000 kg o 10 ⁶ gramos)
t/d	toneladas al día
t/año	toneladas al año
V	voltio
W	vatio (1 W = 1 J/s)
a	año
~	equivale aproximadamente a
μm	micrómetro (1 μm = 10 ⁻⁶ m)
μg	microgramo (1 μg = 10 ⁻⁶ g)
% vol	porcentaje en volumen
% peso	porcentaje en peso

8. Anexos

8.1. Códigos internacionales

ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS LÍQUIDOS

DESCRIPCIÓN DE LOS CÓDIGOS, NORMAS Y DIRECTRICES INTERNACIONALES

por método principal de almacenamiento (enero de 2001)

N°	Punto
	Introducción
	- Códigos, normas y directrices (y países) considerados
	- Métodos de almacenamiento considerados
	- Aplicabilidad
	- Cuestiones
1	Almacenamiento de superficie
2	Almacenamiento subterráneo
3	Almacenamiento a presión
4	Almacenamiento refrigerado
5	Contenedores ISO o intermedios
6	Cavidades para almacenamiento de GLP a presión o petróleo
7	Ejemplo de distribución de productos químicos. Almacenamiento de productos embalados

INTRODUCCIÓN

Códigos, normas y directrices (y países) considerados

Esta descripción se limita a los códigos, normas y directrices publicados en los siguientes países:

- Estados Unidos de América,
- Alemania,
- Reino Unido,
- Francia,
- Países Bajos.

Cabe destacar que algunos de estos códigos y normas se han incluido dentro de países concretos ya que dichos países los han adoptado con esa forma. Puede que otros países hayan utilizado este código y que hayan utilizado un número único.

Entre otros, se han incluido los siguientes códigos, normas y directrices en orden alfabético: ABS, AFNOR, AMCA, AMD, ANSI, API, ARI, AS, ASME, ASTM, AWMA, AWS, BS, CAS, CEN, CGA, CODAP, CODRES, CPR, DIN, EEMUA, EIA, EMC, EN, ENV, FED, GPA, IEC, IEEE, IP, ISO, NACE, NFPA, PD, PEI, UL.

Tenga en cuenta que se trata tan sólo de una descripción general y que, por tanto, es posible que no contenga todavía todas las referencias disponibles. Se anima al lector a incluir códigos, normas y directrices nacionales e internacionales, que, a continuación, podrán incorporarse en esta lista de referencia.

Métodos de almacenamiento considerados

Se han considerado seis métodos de almacenamiento para líquidos a granel, así como un ejemplo de almacenamiento de productos embalados:

1. Tanques de superficie,
2. Tanques subterráneos,
3. Almacenamiento a presión,
4. Almacenamiento refrigerado,
5. Contenedores ISO o intermedios,
6. Cavidades para almacenamiento de GLP a presión o petróleo,
7. Se ha incluido un ejemplo típico sobre distribución de productos químicos: edificaciones de almacenamiento de productos embalados (basado en el Reino Unido).

Aplicabilidad

La descripción preliminar que se adjunta comprende un listado de los códigos, normas y directrices en materia de:

- diseño,
- construcción,
- inspección y mantenimiento,
- y, cuando sea posible, técnicas de prevención ambiental de varios métodos de almacenamiento para productos líquidos.

Varios códigos, normas y directrices pueden ser aplicables a un mismo método de almacenamiento y, a la vez, a otros métodos de almacenamiento. Sin embargo, no se hace ninguna valoración de su idoneidad o aplicabilidad.

1. ALMACENAMIENTO DE SUPERFICIE

1.0 General

EN 14015, 2004 Especificación para el diseño y fabricación de tanques metálicos construidos en el lugar de emplazamiento, verticales, cilíndricos, de fondo plano, no enterrados, soldados, para el almacenamiento de líquidos a temperatura ambiente y superior. Parte 1: Tanques de acero.

En **EN 14015** se cita la siguiente normativa:

EN 287-1 Ensayos para cualificación de soldadores. Soldeo por fusión. Parte 1: Aceros.

EN 288-1 Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos. Parte 1: reglas generales para el soldeo por fusión.

EN 288-2 Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos. Parte 2: especificación del procedimiento de soldeo por arco.

EN 288-3 Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos. Parte 3: cualificación del procedimiento para el soldeo por arco de aceros.

EN 444 Ensayos no destructivos. Principios generales para el examen radiográfico de materiales metálicos por medio de rayos X y Gamma.

EN 462-1 Indicadores de calidad de imagen (tipo hilos). Determinación del valor de calidad de imagen.

EN 462-2 Indicadores de calidad de imagen (tipo taladros y escalones). Determinación del valor de calidad de imagen.

EN 473 Cualificación y certificación de personal que realiza ensayos no destructivos.

EN 571-1 Ensayos no destructivos. Ensayo por líquidos penetrantes. Parte 1: Principios generales.

EN 970 Examen no destructivo de soldaduras por fusión. Examen visual.

EN 1092-1 Bridas y sus uniones. Bridas circulares para tuberías, grifería, accesorios y piezas especiales, designación PN. Parte 1: Bridas de acero.

EN 1290 Examen no destructivo de soldaduras. Examen mediante partículas magnéticas.

EN 1418 Personal de soldadura. Ensayos de cualificación de los operadores de soldeo para el soldeo por fusión y de los ajustadores de soldeo por resistencia para el soldeo automático y totalmente mecanizado de materiales metálicos.

EN 1435 Examen no destructivo de soldaduras. Ensayo radiográfico de uniones soldadas.

EN 1714 Examen no destructivo de soldaduras. Ensayo ultrasónico de uniones soldadas.

prEN 1759-1 Bridas. Parte 1: Bridas de acero circulares, NPS ½" a 24".

EN 10025 Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Condiciones generales de suministro.

EN 10028-2 Productos planos de acero para aplicaciones a presión. Parte 2: Aceros no aleados y aleados con propiedades a elevadas temperaturas.

EN 10028-3 Productos planos de acero para aplicaciones a presión. Parte 3: Aceros soldables de grano fino en estado normalizado.

EN 10029 Chapas de acero laminadas en caliente, de espesor igual o superior a 3 mm. Tolerancias dimensionales sobre la forma y sobre la masa.

EN 10045-1 Materiales metálicos. Ensayo de flexión por choque sobre probeta Charpy. Parte 1: Método de ensayo.

- EN 10088-1** Aceros inoxidables. Parte 1: Relación de aceros inoxidables.
- EN 10088-2** Aceros inoxidables. Parte 2: Condiciones técnicas de suministro de planchas y bandas para uso general.
- EN 10088-3** Aceros inoxidables. Parte 3: Condiciones técnicas de suministro para semiproductos, barras, alambrón y perfiles para aplicaciones en general.
- EN 10113-2** Productos laminados en caliente para construcciones metálicas. Aceros soldables de grano fino. Parte 2: condiciones de suministro de los aceros en estado normalizado.
- EN -10113-3** Productos laminados en caliente para construcciones metálicas. Aceros soldables de grano fino. Parte 3: Condiciones de suministro de los aceros obtenidos por conformado termomecánico.
- EN 10204** Productos metálicos. Tipos de documentos de inspección.
- EN 10210-1** Perfiles huecos para construcción, acabados en caliente, de acero no aleado y de grano fino. Parte 1: Condiciones generales de suministro.
- prEN 10216-1** Tubos de acero sin soldadura para usos a presión. Condiciones técnicas de suministro. Parte 1: Tubos de acero no aleado con características especificadas a temperatura ambiente.
- prEN 10216-5** Tubos de acero sin soldadura para usos a presión. Condiciones técnicas de suministro. Parte 5: Tubos de acero inoxidable.
- prEN 10217-1** Tubos de acero soldados para usos a presión. Condiciones técnicas de suministro. Parte 1: Tubos de acero no aleado con características especificadas a temperatura ambiente.
- prEN 10217-7** Tubos de acero sin soldadura para usos a presión. Condiciones técnicas de suministro. Parte 7: Tubos de acero inoxidable.
- prEN 12874** Apagallamas. Requisitos de funcionamiento, métodos de ensayo y límites de utilización.
- EN 26520** Clasificación de las imperfecciones en las soldaduras metálicas por fusión, con explicaciones.
- ENV 1991-2-1** Eurocódigo 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 2-1: Acciones en estructuras. Densidades, pesos propios y cargas exteriores.

ENV 1991-2-3 Eurocódigo 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 2-3: Acciones en estructuras. Cargas de nieve.

ENV 1993-1-1 Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación.

prEN ISO 14122 Seguridad de las máquinas. Medios de acceso permanente a máquinas e instalaciones industriales.

EN 485 Aluminio y aleaciones de aluminio. Chapas, bandas y planchas.

EN 754 Aluminio y aleaciones de aluminio. Barras, tubos y perfiles estirados en frío.

EN 755 Aluminio y aleaciones de aluminio. Barras, tubos y perfiles extruidos.

1.1 Estados Unidos de América

API 048 (RS) 1-DIC-1989 El coste social de ordenar inspecciones para poner fuera de servicio tanques de almacenamiento de superficie en la industria petrolera.

API 065 (RS) 1-SEP-1992 Coste y beneficios estimados de incorporar barreras para evitar emisiones en los tanques de almacenamiento de superficie en la industria petrolera.

ANSI/API 12B 1-FEB-1995 Especificaciones de los tanques con uniones a base de pernos para el almacenamiento de líquidos de producción.

ANSI/API 12D 1-NOV-1994 Especificaciones de los tanques soldados in situ para el almacenamiento de líquidos de producción.

ANSI/API 12F 1-NOV-1994 Especificaciones de los tanques soldados en taller para el almacenamiento de líquidos de producción.

ANSI/API 2610 1-JUL-1994 Diseño, construcción, uso, mantenimiento e inspección de terminales e instalaciones de tanques.

API 1629 10-OCT-1993 Guía para la evaluación y descontaminación de vertidos de hidrocarburos derivados del petróleo al suelo.

API 2000 1-ABR-1998 Venteo de tanques atmosféricos de baja presión: No refrigerados y refrigerados.

API 2015 1-MAY-1994 Acceso y limpieza seguros de los tanques de almacenamiento de petróleo. Planificación y gestión del acceso a los tanques desde el cierre hasta la reapertura.

API 2021A 1-JUN-1998 Estudio provisional sobre prevención y extinción de incendios en tanques atmosféricos de superficie de gran tamaño.

API 2202 1991 Desmantelamiento y tratamiento de los residuos de acero procedentes de tanques de superficie para almacenamiento de gasolina con plomo.

API 2350 1996 Protección contra rebosamiento para tanques de almacenamiento de petróleo.

API 2517D 1-MAR-1993 Archivo de documentación para la publicación 2517 de la API. Pérdidas por evaporación de tanques de techo flotante externo.

API 2519D 1-MAR-1993 Archivo de documentación para la publicación 2597 de la API. Pérdidas por evaporación de tanques de techo flotante interno.

API 301 1991 Inspección de tanques de superficie: 1989, 1991.

API 306 1991 Valoración de ingeniería sobre los métodos volumétricos de detección de fugas en tanques de almacenamiento de superficie.

API 307 1991 Valoración de ingeniería sobre los métodos acústicos de detección de fugas en tanques de almacenamiento de superficie.

API 322 1994 Evaluación de ingeniería sobre los métodos acústicos de detección de fugas en tanques de almacenamiento de superficie.

API 323 1994 Evaluación de ingeniería sobre los métodos volumétricos de detección de fugas en tanques de almacenamiento de superficie.

API 325 1-MAY-1994 Evaluación de una metodología para la detección de fugas en tanques de almacenamiento de superficie.

API 327 1-SEP-1994 Normas para tanques de almacenamiento de superficie: Tutorial.

API 334 1-SEP-1995 Guía sobre la detección de fugas en tanques de almacenamiento de superficie.

API 340 1-OCT-1 1997 Medidas de prevención y detección de vertidos líquidos en instalaciones de almacenamiento de superficie.

API 341 1-FEB-1998 Estudio sobre el uso de revestimientos para zonas de contención en instalaciones de tanques para almacenamiento de superficie.

API 351 1-ABR-1999 Introducción a los métodos de ensayo de permeabilidad del suelo.

API 579 2000 Prácticas recomendadas de idoneidad para el servicio.

API 620 1-FEB-1996 Diseño y construcción de tanques soldados de baja presión y gran tamaño. Novena Edición.

API 650 1-NOV-1998 Tanques de acero soldados para el almacenamiento de productos petrolíferos.

ANSI/API 651 1-DIC-1 997 Protección catódica de tanques para almacenamiento en superficie de productos petrolíferos.

ANSI/API 652 1 -DIC-1997 Revestimiento de fondos de tanques para almacenamiento en superficie de productos petrolíferos.

API 653 1-DIC-1995 Inspección, reparación, modificación y reconstrucción de tanques.

API 910 1-NOV-1997 Compendio estatal de normativas sobre calderas, recipientes a presión, conducciones y tanques de almacenamiento en superficie de productos petrolíferos.

API MPMS Capítulo 19.2 1-ABR-1997 Medición de la merma por evaporación: Archivo de documentación para el Manual API de normas de medición de productos petrolíferos, capítulo 19.2 – Merma por evaporación de tanques de techo flotante.

API MPMS capítulo 19.3C 1-JUL-1998 Medición de la merma por evaporación - Parte C: Método de ensayo de la merma de peso para la medición de los factores de merma en las juntas de estanquidad periféricas en tanques de techo flotante interno.

API MPMS Capítulo 7.4 1993 Determinación de la temperatura estática utilizando termómetros de tanque fijos automáticos.

API RP 575 1-NOV-1995 Inspección de tanques de baja presión.

AWMA 91.15.5 1-JUN-1991 Detección de fugas en el suelo de los tanques de almacenamiento de superficie mediante sistemas acústicos de detección pasiva.

ANSI/AWWA D110-95 1995 Tanques de agua circulares de hormigón pretensado con dosificador helicoidal (incluye apéndice D110a-96).

UL 142 1992 Tanques de acero para almacenamiento en superficie de líquidos inflamables y combustibles.

NFPA 30A Código de estaciones de servicio automotrices y marítimas, edición 2000.

NFPA 22 Tanques de agua para protección contra incendios en propiedades privadas, edición 1998.

NFPA 395 Norma para el almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles en granjas y lugares aislados, edición 1993.

1.2 Alemania

DIN 4119-1 1-JUN-1979 Instalaciones de tanques metálicos, cilíndricos y de fondo plano para el almacenamiento en superficie. Fundamentos, diseño, ensayos y norma.

DIN 4119-2 1-FEB-1980 Instalaciones de tanques metálicos, cilíndricos y de fondo plano para el almacenamiento en superficie. Cálculos.

DIN 6600 1-SEP-1989 Tanques de acero para el almacenamiento de líquidos contaminantes del agua inflamables y no inflamables. Conceptos e inspección.

DIN 6601 OCT-1990 Resistencia de los materiales de los tanques de acero en presencia de líquidos (lista positiva).
(+ revisión DIN 6601/A1).

DIN 6616 SEP-1989 Tanques de acero horizontales, de pared simple o doble, para almacenamiento en superficie de líquidos inflamables y no inflamables contaminantes del agua.

DIN 6618-1 SEP-1989 Tanques de acero verticales, de pared simple, para almacenamiento en superficie de líquidos inflamables y no inflamables contaminantes del agua.

DIN 6618-2 SEP-1989 Tanques de acero verticales, de pared doble y sin sistema de detección de fugas, para almacenamiento en superficie de líquidos inflamables y no inflamables contaminantes del agua.

DIN 6618-3 SEP-1989 Tanques de acero verticales, de pared doble y con sistema de detección de fugas, para almacenamiento en superficie de líquidos inflamables y no inflamables contaminantes del agua.

DIN 6618-4 SEP-1989 Tanques de acero verticales, de pared doble y sin sistema de detección de fugas, con tubo de succión externo, para almacenamiento en superficie de líquidos inflamables y no inflamables contaminantes del agua.

DIN 6623-1 SEP-1989 Tanques de acero verticales, de pared simple y con un volumen inferior a 1000 litros, para almacenamiento en superficie de líquidos inflamables y no inflamables contaminantes del agua.

DIN 6623-2 SEP-1989 Tanques de acero verticales, de pared doble y con un volumen inferior a 1000 litros, para almacenamiento en superficie de líquidos inflamables y no inflamables contaminantes del agua.

DIN 6624-1 SEP-1989 Tanques de acero horizontales, de pared simple y con un volumen de 1000 a 5000 litros, para almacenamiento en superficie de líquidos inflamables y no inflamables contaminantes del agua.

DIN 6624-2 SEP-1989 Tanques de acero horizontales, de pared doble y con un volumen de 1000 a 5000 litros, para almacenamiento en superficie de líquidos inflamables y no inflamables contaminantes del agua.

DIN 11622 JUL-1994 Silos para piensos fermentados y tanques para purines líquidos (6 partes).

DIN EN 617 MAY-2002 Equipos y sistemas de manutención continua. Requisitos de seguridad y de CEM para los equipos de almacenamiento de materiales a granel en silos, carboneras, depósitos y tolvas.

DIN EN 12285-2 FEB-2002 Tanques de acero fabricados en taller. Parte 2: Tanques horizontales cilíndricos, de pared simple o doble para almacenamiento en superficie de líquidos inflamables y no inflamables contaminantes del agua.

DIN EN 12573-1 DIC-2000 Tanques estáticos soldados no presurizados de materiales termoplásticos. Parte 1: Principios generales.

DIN EN 12573-2 DIC-2000 Tanques estáticos soldados no presurizados de materiales termoplásticos. Parte 2: Cálculo de tanques cilíndricos verticales.

DIN EN 12573-3 DIC-2000 Tanques estáticos soldados no presurizados de materiales termoplásticos. Parte 3: Diseño y cálculo para tanques rectangulares de pared simple.

DIN EN 12573-4 DIC-2000 Tanques estáticos soldados no presurizados de materiales termoplásticos. Parte 4: Diseño y cálculo de uniones mediante bridas.

DIN EN 13121-1 AGO-1998 Tanques y depósitos aéreos de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Parte 1: Materias primas. Condiciones de especificación y condiciones de aceptación.

DIN EN 13121-2 AGO-1998 Tanques y depósitos aéreos de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Parte 2: Materiales compuestos. Resistencia química.

DIN EN 13121-3 AGO-1998 Tanques y depósitos aéreos de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Parte 3: Cálculo, construcción y diseño.

DIN EN 13121-4 AGO-1998 Tanques y depósitos aéreos de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Parte 4: Suministro, instalación y mantenimiento.

DIN EN 13352 DIC-1998 Especificación para el rendimiento de medidores automáticos del contenido en un tanque.

DIN EN 13530-1 AGO-2002 Recipientes criogénicos. Grandes recipientes transportables aislados en vacío. Parte 1: Requisitos fundamentales.

DIN EN 13530-2 JUL-1999 Recipientes criogénicos. Grandes recipientes transportables aislados en vacío. Parte 2: Diseño, fabricación, inspección y ensayo.

DIN EN 13575 AGO-1999 Dispositivos de prevención de rebosamientos para tanques de almacenamiento de petróleo líquido.

DIN EN 13617-1 SEP-1999 Gasolineras. Parte 1: Requisitos de seguridad para la construcción y funcionamiento de bombas contadoras, surtidores y unidades de bombeo remotas.

DIN EN 14015-1 ENE-2001 Especificación para el diseño y fabricación de tanques de acero construidos en el lugar de emplazamiento, verticales, cilíndricos, de fondo plano, no enterrados, soldados, para el almacenamiento de líquidos a temperatura ambiente y superior. Parte 1: Tanques de acero.

DIN EN 14398-2 ABR-2002 Recipientes criogénicos. Grandes recipientes transportables no aislados en vacío. Parte 2: Diseño, fabricación, inspección y ensayo.

DIN EN ISO 17654 JUN-2000 Ensayos destructivos de soldaduras en materiales metálicos. Soldeo por resistencia.

DIN EN ISO 17654 JUN-2000 Petróleo y productos relacionados. Determinación de las características inflamables de fluidos en contacto con superficies calientes. Ensayo de ignición en un tubo de unión múltiple (manifold).

1.3 Reino Unido

BS 2654 1989 Especificación para la fabricación de tanques verticales soldados de acero no refrigerados con estructuras de soldadura a tope para la industria petrolera.

BS 2654 Modificación 1 1997 Modificación 1 – Especificación para la fabricación de tanques verticales soldados de acero no refrigerados con estructuras de soldadura a tope para la industria petrolera.

BS 8007 1987 Código práctico para el diseño de estructuras de hormigón para la retención de líquidos acuosos.

EEMUA 154 Guía para propietarios sobre demolición de tanques cilíndricos verticales de acero.

EEMUA 159 1994 Guía de mantenimiento e inspección para usuarios de tanques cilíndricos verticales de acero para almacenamiento en superficie.

EEMUA 180 1996 Guía para diseñadores y usuarios techos de venteo para tanques de techo fijo.

EEMUA 183 1999 Guía para la prevención de fugas en el fondo de los tanques cilíndricos verticales de acero.

EMC 1980 Código modelo europeo de prácticas seguras en el almacenamiento y manipulación de productos petrolíferos. Parte II: diseño, replanteo y construcción.

IP 34/99 Determinación del punto de inflamación. Método Pensky-Martens en vaso cerrado IP-ASTM Método Combinado ASTM D 93-97.

IP 35/63 (86) Determinación de los puntos de inflamación y de combustión en vaso abierto. Método Pensky-Martens. Normas equivalentes: BS 2000: Parte 35: 1993.

IP 36/84 (89) Determinación de los puntos de inflamación y de combustión en vaso abierto. Método Cleveland IP-ASTM Método combinado ASTM D 92-97.

IP 170/99 Productos petrolíferos y otros líquidos. Determinación del punto de inflamación. Método Abel en vaso cerrado. Normas equivalentes: BS 2000: Parte 170: 1998; \BS EN ISO 13736: 1998; \BS EN ISO 13736: 1997.

IP 303/83 (88) Determinación del punto de inflamación en vaso cerrado. Método del equilibrio rápido IP-ASTM Método combinado ASTM D 3828-97.

IP 304/80 Determinación del punto de inflamación. Método del equilibrio en vaso cerrado.

IP 378/87 Estabilidad del almacenamiento a 43°C de fueloil IP-ASTM Método combinado ASTM D 4625-92 (98).

IP 403/94 Productos petrolíferos. Determinación de los puntos de inflamación y de combustión. Método Cleveland en vaso abierto. Normas equivalentes: BS 2000: Parte 403: 1994; BS EN 22592: 1994; ISO 2592: 1973.

IP 404/94 Productos petrolíferos y lubricantes. Determinación del punto de inflamación. Método Pensky-Martens en vaso cerrado. Normas equivalentes: BS 2000: Parte 404: 1994; BS EN 22719: 1994; ISO 2719: 1988.

IP PM CE/1996 Determinación del punto de inflamación. Líquidos transparentes. Método Pensky-Martens en vaso cerrado. Obsoleto. Método propuesto.

IP PM CH/99 Determinación de la estabilidad del almacenamiento en caliente de ligantes bituminosos modificados. Método propuesto.

IP Model Code of Safe Practice, parte 19 Precauciones en caso de incendio en refinerías de petróleo e instalaciones de almacenamiento de graneles.

IP Code of Practice, 1994 Techos flotantes internos para tanques de almacenamiento de petróleo.

1.4 Francia

CODRES 1991 Code Français de construction des réservoirs cylindriques verticaux en acier avec tôles de robe soudées bout à bout, pour stockage de produits pétroliers liquides. – FRANCÉS.

1.5 Países Bajos

Reglas para recipientes a presión. Código holandés para la construcción de recipientes a presión no sometidos a llama. Apartado G. Apartados G801, G802 y G803.

CPR 9-2 1985 Vloeibare aardolieprodukten. Bovengrondse opslag, kleine installaties – HOLANDÉS.

CPR 9-3 1984 Vloeibare aardolieprodukten. Bovengrondse opslag, grote installaties – HOLLANDÉS.

CPR 9-6 25 mei 1998 Nr. 98/88 De opslag van vloeibare aardolieproducten.

CPR 9-6 19 juli 1999 Nr. 99/135 Richtlijn voor opslag tot 150 m³ van brandbare vloeistoffen met een vlammpunt van 55 tot 100 °C in bovengrondse tanks.

CPR 12E Nr. 98/11 3 februari 1998 Berekeningsmethoden voor opstellen risicoanalyse gevaarlijke stoffen.

CPR-12 Nr. 97/13128 juli 1997 Methoden voor het bepalen en verwerken van kansen.

CPR 12E 1 noviembre 1999 N° 99/194 Métodos para determinar y procesar probabilidades.

CPR 14E N° 97/13128 julio 1997 Métodos para calcular efectos físicos.

CPR 14E 1 noviembre 1999 N° 99/194 Métodos para calcular efectos físicos.

CPR 15-1 1994 Richtlijn 15-1 van de CPR, getiteld ‘Opslag gevaarlijke stoffen in emballage; Opslag van vloeistoffen en vaste stoffen (0 ton tot 10 ton)’, tweede druk, uitgave 1994.

CPR 15-2 1991 Richtlijn 15-2 van de CPR, getiteld ‘Opslag gevaarlijke stoffen, chemische afval stoffen en bestrijdingsmiddelen in emballage; opslag van grote hoeveelheden’, eerste druk, 1991.

CPR-16 Nr. 97/13128 juli 1997 Methoden voor het bepalen van mogelijke schade aan mensen en goederen.

CPR 16E 1 noviembre 1999 N° 99/194 Métodos para determinar los posibles daños.

CPR 18E 1 noviembre 1999 N° 99/194 Directrices para la evaluación cuantitativa de los riesgos.

CPR 20 31 januari 2000 Nr. 2000/013 RIB, Rapport Informatie-eisen BRZO’99.

NEN-EN 14015, 2000 (disponible sólo borrador) Especificación para el diseño y fabricación de tanques de acero construidos en el lugar de emplazamiento, verticales, cilíndricos, de fondo plano, no enterrados, soldados, para el almacenamiento de líquidos a temperatura ambiente y superior, Parte 1: Tanques de acero (ver también CEN/TC 265, apartado General).

1.6 Austria

OENORM C 2115: 1981 01 01 (Standard), Liegende Behälter aus Stahl; einwandig und doppelwandig für oberirdische Lagerung von Flüssigkeiten.

OENORM C 2116-1: 1984 06 01 (Standard), Stehende zylindrische Behälter aus Stahl-einwandig-für oberirdische Lagerung von Flüssigkeiten.

OENORM C 2116-2: 1984 06 01 (Standard), Stehende zylindrische Behälter aus Stahl-doppelwandig-mit Unterdruck-Leckanzeige für oberirdische Lagerung von Flüssigkeiten.

OENORM C 2116-3: 1984 06 01 (Standard), Stehende zylindrische Behälter aus Stahl-doppelwandig-mit Flüssigkeits-Leckanzeige für oberirdische Lagerung von Flüssigkeiten.

OENORM C 2117-1: 1982 03 01 (Standard), Standortgefertigte prismatische Behälter aus Stahl für oberirdische Lagerung von Flüssigkeiten; Ausführung.

OENORM C 2117-2: 1982 03 01 (Standard), Standortgefertigte prismatische Behälter aus Stahl für oberirdische Lagerung von Flüssigkeiten; Berechnung.

OENORM C 2118: 1985 04 01 (Standard), Liegende Behälter aus Stahl; Nenninhalt 1m³ bis 5m³; einwandig und doppelwandig für oberirdische Lagerung von Flüssigkeiten.

2. ALMACENAMIENTO SUBTERRÁNEO

2.1 Estados Unidos de América

API 1604 1-MAR-1996 Cierre de tanques de almacenamiento subterráneo de petróleo.

API 1615 1-MAR-1996 Instalación de sistemas de almacenamiento subterráneo de petróleo.

API 1621 1-MAY-1993 Control de existencias de graneles líquidos en el punto de venta.

API 1629 10-OCT-1993 Guía para la evaluación y descontaminación de vertidos de hidrocarburos derivados del petróleo al suelo.

API 1631 1-OCT-1997 Revestimiento interior de tanques de almacenamiento subterráneo.

API 1632 1-MAY-1996 Protección catódica de tanques de almacenamiento subterráneo de petróleo y oleoductos subterráneos.

API 1650 1989 Conjunto de seis prácticas recomendadas por la API para la gestión de tanques de almacenamiento subterráneo de petróleo.

API 1663A Módulo de formación para la instalación de tanques subterráneos. Compilación. Incluye API 1663B, 1663C, 1663D, y 1663E.

API 1663B Módulo de formación para la instalación de tanques subterráneos.

API 1663C Manual de instalación de tanques subterráneos/Libro de anexos complementarios de API 1663B.

API 1663D Módulo de formación para la desinstalación de tanques subterráneos.

API 1663E Manual de desinstalación de tanques subterráneos/Libro de anexos complementarios de API 1663D.

API 2000 1-ABR-1998 Venteo de tanques atmosféricos de baja presión: No refrigerados y refrigerados.

ASTM D4021-92 15-JUN-1992 Especificación estándar para tanques de poliéster reforzado con fibra de vidrio para el almacenamiento subterráneo de petróleo.

ASTM E1430-91 6-SEP-1991 Guía estándar de uso de dispositivos de detección de emisiones en tanques subterráneos.

ASTM E1526-93 15-MAR-1993 Prácticas estándar para evaluar el rendimiento de los sistemas de detección de emisiones en tanques subterráneos.

ASTM E1 990-98 10-OCT-1998 Guía estándar para comprobar el cumplimiento operativo del reglamento 40 CFR, Parte 280, de los sistemas de tanques subterráneos.

ASTM G158-98 10-SEP-1998 Guía estándar con tres métodos para evaluar tanques de acero enterrados.

NACE RP0285-95 1995 Prácticas estándar recomendadas. Control de la corrosión en los sistemas de tanques de almacenamiento subterráneo mediante protección catódica.

NFPA (incendios) 326 1999 Acceso seguro a los tanques subterráneos.

PEI RP100 1997 Prácticas recomendadas para la instalación de sistemas subterráneos de almacenamiento de líquidos.

PEI RP 100-2000 Prácticas recomendadas para la instalación de sistemas subterráneos de almacenamiento de líquidos.

UL 1316 1994 Tanques subterráneos de plástico reforzado con fibra de vidrio para productos petrolíferos, alcoholes y mezclas de alcohol y gasolina.

UL 1746 1993 Sistemas de protección de la corrosión externa para tanques subterráneos de acero.

UL 1746 Modificación 1 3-NOV-1997 Sistemas de protección de la corrosión externa para tanques subterráneos de acero.

UL 1746 Modificación 2 24-SEP-2000 Sistemas de protección de la corrosión externa para tanques subterráneos de acero.

UL 1746 Modificación 3 16-MAY-2000 Sistemas de protección de la corrosión externa para tanques subterráneos de acero.

2.2 Alemania

DIN 6600 1-SEP-1989 Tanques de acero para el almacenamiento de líquidos contaminantes del agua inflamables y no inflamables. Conceptos e inspección.

DIN EN 1918-5 JUL-1998 Sistemas de suministro de gas. Almacenamiento subterráneo de gas. Parte 5: Recomendaciones funcionales para instalaciones de superficie.

DIN EN 976-1 1-SEP-1997 Tanques subterráneos de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Tanques cilíndricos horizontales para el almacenamiento sin presión de carburantes petrolíferos líquidos. Parte 1: Requisitos y métodos de ensayo para tanques de pared simple – ALEMÁN.

DIN EN 976-2 1-SEP-1997 Tanques subterráneos de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Tanques cilíndricos horizontales para el almacenamiento sin presión de carburantes petrolíferos líquidos. Parte 2: Transporte, manipulación, almacenamiento e instalación de tanques de pared simple – ALEMÁN.

DIN EN 977 1-SEP-1997 Tanques subterráneos de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Método de exposición de una cara a los fluidos – ALEMÁN.

DIN EN 978 1-SEP-1997 Tanques subterráneos de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Determinación del factor de fluencia y el factor de envejecimiento – ALEMÁN.

DIN 6607 ENE-1991 Protección contra la corrosión. Revestimientos para tanques subterráneos: requisitos y ensayos.

DIN 6608-2 SEP-1989 Tanques de acero horizontales, de pared doble, para almacenamiento subterráneo de líquidos inflamables y no inflamables contaminantes del agua.

DIN 6619-2 SEP-1989 Tanques de acero verticales, de pared doble, para almacenamiento subterráneo de líquidos inflamables y no inflamables contaminantes del agua.

DIN 6626-2 SEP-1989 Bóvedas de acero para tanques de almacenamiento subterráneo de líquidos inflamables y no inflamables contaminantes del agua.

DIN EN 976-3 OCT-1997 Tanques subterráneos de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Tanques cilíndricos horizontales para el almacenamiento sin presión de carburantes petrolíferos líquidos. Parte 3: Requisitos y métodos de ensayo para tanques de pared doble.

DIN EN 976-4 OCT-1997 Tanques subterráneos de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Tanques cilíndricos horizontales para el almacenamiento sin presión de carburantes petrolíferos líquidos. Parte 4: Transporte, manipulación, almacenamiento intermedio e instalación de tanques de pared doble.

DIN EN 12917 OCT-1997 Tanques subterráneos de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Tanques cilíndricos horizontales para el almacenamiento sin presión de combustibles líquidos derivados del petróleo. Evaluación de la conformidad con EN 976-1 y 976-3.

DIN EN 13160-1 MAY-1998 Sistemas de detección de fugas. Parte 1: Principios generales.

DIN EN 13160-2 MAY-1998 Sistemas de detección de fugas. Parte 2: Sistemas por presión y vacío.

DIN EN 13160-3 MAY-1998 Sistemas de detección de fugas. Parte 3: Sistemas líquidos.

DIN EN 13160-4 MAY-1998 Sistemas de detección de fugas. Parte 4: Sistemas de detección de líquido y/o gas en espacios de contención o intersticiales.

DIN EN 13160-5 MAY-1998 Sistemas de detección de fugas. Parte 5: Sistemas de detección de fugas de tanques por indicador de nivel.

DIN EN 13160-6 MAY-1998 Sistemas de detección de fugas. Parte 6: Sistemas estáticos de detección de fugas en pozos de vigilancia.

DIN EN 13160-7 MAY-1998 Sistemas de detección de fugas. Parte 7: Requisitos generales y métodos de ensayo para espacios intersticiales, revestimientos interiores y envolturas protectoras frente a las fugas.

DIN EN 13636 OCT-1999 Protección catódica de tanques metálicos enterrados y de las tuberías asociadas.

DIN EN 14125 MAY-2001 Tuberías subterráneas para gasolineras.

DIN EN 14129 JUL-2001 Válvulas de seguridad para tanques de gas licuado.

2.3 Reino Unido

BS 2594 1975 Especificación para tanques cilíndricos horizontales soldados de acero al carbono.

BS EN 1918-1 1998 Sistemas de suministro de gas. Almacenamiento subterráneo de gas. Recomendaciones funcionales para el almacenamiento en acuíferos.

BS EN 1918-2 10-ENE-1998 Sistemas de suministro de gas. Almacenamiento subterráneo de gas. Recomendaciones funcionales para el almacenamiento en yacimientos de gas y petróleo.

BS EN 1918-5 1998 Sistemas de suministro de gas. Almacenamiento subterráneo de gas. Recomendaciones funcionales para instalaciones de superficie.

BS EN 976-1 1997 Tanques subterráneos de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Tanques cilíndricos horizontales para el almacenamiento sin presión de carburantes petrolíferos líquidos. Parte 1: Requisitos y métodos de ensayo para tanques de pared simple – INGLÉS.

BS EN 976-2 1997 Tanques subterráneos de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Tanques cilíndricos horizontales para el almacenamiento sin presión de carburantes petrolíferos líquidos. Parte 2: Transporte, manipulación, almacenamiento e instalación de tanques de pared simple – INGLÉS.

BS EN 977 1-SEP-1997 Tanques subterráneos de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Método de exposición de una cara a los fluidos– INGLÉS.

BS EN 978 1-SEP-1997 Tanques subterráneos de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Determinación del factor de fluencia y el factor de envejecimiento – INGLÉS.

IP 34/99 Determinación del punto de inflamación. Método Pensky-Martens en vaso cerrado IP-ASTM Método Combinado ASTM D 93-97.

IP 35/63 (86) Determinación de los puntos de inflamación y de combustión en vaso abierto. Método Pensky-Martens. Normas equivalentes: BS 2000: Parte 35: 1993.

IP 36/84 (89) Determinación de los puntos de inflamación y de combustión en vaso abierto. Método Cleveland IP-ASTM Método combinado ASTM D 92-97.

IP 170/99 Productos petrolíferos y otros líquidos. Determinación del punto de inflamación. Método Abel en vaso cerrado. Normas equivalentes: BS 2000: Parte 170: 1998; \BS EN ISO 13736: 1998; ISO 13736: 1997.

IP 303/83 (88) Determinación del punto de inflamación en vaso cerrado. Método del equilibrio rápido IP-ASTM Método combinado ASTM D 3828-97.

IP 304/80 Determinación del punto de inflamación. Método del equilibrio en vaso cerrado.

IP 403/94 Productos petrolíferos. Determinación de los puntos de inflamación y de combustión. Método Cleveland en vaso abierto. Normas equivalentes: BS 2000: Parte 403: 1994; BS EN 22592: 1994; ISO 2592: 1973.

IP 404/94 Productos petrolíferos y lubricantes. Determinación del punto de inflamación. Método Pensky-Martens en vaso cerrado. Normas equivalentes: BS 2000: Parte 404: 1994; BS EN 22719: 1994; ISO 2719: 1988.

2.4 Francia

AFNOR NF EN 976-1 1-SEP-1997 Tanques subterráneos de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Tanques cilíndricos horizontales para el almacenamiento sin presión de carburantes petrolíferos líquidos. Parte 1: Requisitos y métodos de ensayo para tanques de pared simple – FRANCÉS.

AFNOR NF EN 976-2 1-SEP-1997 Tanques subterráneos de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Tanques cilíndricos horizontales para el almacenamiento sin presión de carburantes petrolíferos líquidos. Parte 2: Transporte, manipulación, almacenamiento e instalación de tanques de pared simple – FRANCÉS.

AFNOR NF M 88-514 1-MAR-1980 Tanques subterráneos de dos materiales para el almacenamiento de carburantes petrolíferos líquidos. Tanques con exterior de acero. Tanques con interior de plástico.

AFNOR NF M 88-550 1979 Tanques de plástico reforzado. Tanques subterráneos para carburantes petrolíferos líquidos.

2.5 Países Bajos

CPR 9-1 1983 Vloeibare aardolieprodukten. Ondergrondse opslag – HOLLANDÉS.

CPR 12E Nr. 98/11 3 februari 1998 Berekeningsmethoden voor opstellen risicoanalyse gevaarlijke stoffen.

CPR-12 Nr. 97/13128 juli 1997 Methoden voor het bepalen en verwerken van kansen.

CPR 12E 1 noviembre 1999 N° 99/194 Métodos para determinar y procesar probabilidades.

CPR 14E N° 97/13128 julio 1997 Métodos para calcular efectos físicos.

CPR 14E 1 noviembre 1999 N° 99/194 Métodos para calcular efectos físicos.

CPR 15-1 1994 Richtlijn 15-1 van de CPR, getiteld 'Opslag gevaarlijke stoffen in emballage; Opslag van vloeistoffen en vaste stoffen (0 ton tot 10 ton)', tweede druk, uitgave 1994.

CPR 15-2 1991 Richtlijn 15-2 van de CPR, getiteld 'Opslag gevaarlijke stoffen, chemische afval stoffen en bestrijdingsmiddelen in emballage; opslag van grote hoeveelheden', eerste druk, 1991.

CPR-16 Nr. 97/13128 juli 1997 Methoden voor het bepalen van mogelijke schade aan mensen en goederen.

CPR 16E 1 noviembre 1999 N° 99/194 Métodos para determinar los posibles daños.

CPR 18E 1 noviembre 1999 N° 99/194 Directrices para la evaluación cuantitativa de los riesgos.

CPR 20 31 januari 2000 Nr. 2000/013 RIB, Rapport Informatie-eisen BRZO'99.

2.6 Austria

OENORM C 2110: 1990 07 01 (Standard), Liegende Behälter aus Stahl; einwandig und doppelwandig, für unterirdische Lagerung von Flüssigkeiten.

OENORM C 2121: 1986 01 01 (Standard), Stehende Behälter aus Stahl; einwandig und doppelwandig für unterirdische Lagerung von Flüssigkeiten.

OENORM C 2122: 1992 06 01 (Standard), Domschächte aus Stahl für Behälter zur unterirdischen Lagerung von Flüssigkeiten.

OENORM C 2123: 1992 09 01 (Standard), Domschachtkragen aus Stahl bei Domschächten in Massivbauweise für Behälter zur unterirdischen Lagerung von Flüssigkeiten.

OENORM EN 12285: 1996 03 01 (Draft Standard), Werksfertige Tanks aus metallischen Werkstoffen – Liegende ein- und doppelwandige Tanks zur unterirdischen Lagerung v. brennbaren u. nichtbrennbaren wassergefährdenden Flüssigkeiten.

OENORM EN 12917: 1997 09 01 (Draft Standard), Unterirdische Tanks aus textilglasverstärkten Kunststoffen (GFK) – Liegende, zylindrische Tanks für die drucklose Lagerung von flüssigen Kraftstoffen auf Erdölbasis – Konformitätsbewertung nach EN 976-1 und 976-3.

OENORM EN 14075: 2001 02 01 (borrador). Tanques cilíndricos estáticos de acero, soldados, fabricados en serie para el almacenamiento de gases licuados de petróleo (GLP) con un volumen no superior a 13 m³ y para instalación subterránea. Diseño y fabricación.

OENORM EN 976-1: 1998 04 01 (Standard), Unterirdische Tanks aus textilglasverstärkten Kunststoffen (GFK) – Liegende, zylindrische Tanks für die drucklose Lagerung von flüssigen Kraftstoffen auf Erdölbasis.

OENORM EN 976-2: 1998 04 01 (Standard), Unterirdische Tanks aus textilglasverstärkten Kunststoffen (GFK) – Liegende, zylindrische Tanks für die drucklose Lagerung von flüssigen Kraftstoffen auf Erdölbasis.

OENORM EN 976-3: 1997 09 01 (Draft Standard), Unterirdische Tanks aus textilglasverstärkten Kunststoffen (GFK) – Liegende, zylindrische Tanks für die drucklose Lagerung von flüssigen Kraftstoffen auf Erdölbasis. Teil 3: Anforderungen und Prüfverfahren für doppelwandige Tanks.

OENORM EN 976-4: 1997 09 01 (Draft Standard), Unterirdische Tanks aus textilglasverstärkten Kunststoffen (GFK) – Liegende, zylindrische Tanks für die

drucklose Lagerung von flüssigen Kraftstoffen auf Erdölbasis. Teil 4: Transport, Handhabung, Zwischenlagerung und Einbau doppelwandiger Tanks.

OENORM EN 977: 1998 04 01 (Standard), Unterirdische Tanks aus textilglas-verstärkten Kunststoffen (GFK) – Prüfanordnung zur einseitigen Beaufschlagung mit Fluiden.

OENORM EN 978: 1998 04 01 (Standard), Unterirdische Tanks aus textilglas-verstärkten Kunststoffen (GFK) – Bestimmung des Faktors Alpha und des Faktors Beta.

3. ALMACENAMIENTO A PRESIÓN

3.1 Estados Unidos de América

API 520-1 2000 Dimensionado, selección e instalación de dispositivos de alivio de presión en refinerías. Parte 1: Dimensionado y selección.

AS 1210 Modificación 1 1-FEB-1998 Recipientes a presión no sometidos a llama. Diseño y construcción avanzados.

AS 1210 Suplemento 1 1990 Recipientes a presión no sometidos a llama. Diseño y construcción avanzados. Sigue actualmente como suplemento en la edición de 1997.

AS 1210 Suplemento 1 - Mod 1 5-SEP-1995 Recipientes a presión no sometidos a llama. Diseño y construcción avanzados (modificación 1 del suplemento 1).

AS 1210 Suplemento 1 - Mod 2 1-JUL-1997 Recipientes a presión no sometidos a llama. Diseño y construcción avanzados (modificación 2 del suplemento 1).

ASME apartado IIA 1-ENE-98 ASME Código de calderas y recipientes a presión, apartado 11: Materiales. Parte A: Especificaciones de los materiales férreos.

ASME apartado IIB 1-ENE-98 ASME Código de calderas y recipientes a presión, apartado 11: Materiales. Parte B: Especificaciones de los materiales no férreos.

ASME apartado IIC 1-ENE-98 ASME Código de calderas y recipientes a presión, apartado 11: Materiales. Parte C: Especificaciones para varillas de soldadura, electrodos y metales de aportación.

ASME apartado IID 1-ENE-98 ASME Código de calderas y recipientes a presión, apartado 11: Materiales. Parte D: Propiedades.

ASME apartado V 1-ENE-98 ASME Código de calderas y recipientes a presión, apartado V: Examen no destructivo.

ASME apartado VIII-DIV 1 1998 ASME Código de calderas y recipientes a presión, apartado VIII, división 1: Recipientes a presión.

ASME apartado VIII-DIV 2 1998 ASME Código de calderas y recipientes a presión, apartado VIII, división 3: Reglas alternativas.

ASME apartado VIII-DIV 3 1998 ASME Código de calderas y recipientes a presión, apartado VIII, división 3: Reglas alternativas para la construcción de recipientes de alta presión.

ASME apartado X 1-ENE-98 ASME Código de calderas y recipientes a presión, apartado X: Recipientes a presión de plástico reforzado con fibra de vidrio.

ASME Casos del código: BPV 01-JUL-98 ASME Código de calderas y recipientes a presión. Casos del código: Calderas y recipientes a presión.

NACE RP0285-95 1995 Prácticas estándar recomendadas. Control de la corrosión en los sistemas de tanques de almacenamiento subterráneo mediante protección catódica.

NFPA (incendios) 326 1999 Acceso seguro a los tanques subterráneos.

PEI RP100 1997 Prácticas recomendadas para la instalación de sistemas subterráneos de almacenamiento de líquidos.

UL 1746 1993 Sistemas de protección de la corrosión externa para tanques subterráneos de acero.

UL 1746 Modificación 1 3-NOV-1997 Sistemas de protección de la corrosión externa para tanques subterráneos de acero.

UL 1746 Modificación 2 24-SEP-2000 Sistemas de protección de la corrosión externa para tanques subterráneos de acero.

UL 1746 Modificación 3 16-MAY-2000 Sistemas de protección de la corrosión externa para tanques subterráneos de acero.

3.2 Reino Unido

BS 5276-1-1984 Detalles de los recipientes a presión (dimensiones). Especificación para pescantes para cubiertas tubulares de recipientes de acero.

BS EN 286-1 1998 Recipientes a presión simples, no sometidos a llama, diseñados para contener aire o nitrógeno. Recipientes a presión para aplicaciones generales.

BS PD 5500 15-NOV-1999 Especificación para recipientes a presión soldados por fusión no sometidos a llama.

BS 7005-1988 Especificación para el diseño y fabricación de recipientes a presión de acero al carbono no sometidos a llama para sistemas de refrigeración por compresión de vapor.

AMD 10830 Modificación de PD 5500:2000 Especificación para recipientes a presión soldados por fusión no sometidos a llama.

Consulta 5500/33:2000 Consulta relativa a PD 5500:2000. Especificación para recipientes a presión soldados por fusión no sometidos a llama.

Consulta 5500/119:2000 Consulta relativa a PD 5500:2000. Especificación para recipientes a presión soldados por fusión no sometidos a llama.

Consulta 5500/127:2000 Consulta relativa a PD 5500:2000. Especificación para recipientes a presión soldados por fusión no sometidos a llama.

PD 6497-1982 Tensiones en recipientes a presión cilíndricos horizontales apoyados en dos asientos: derivación de las ecuaciones y constantes básicas utilizadas en G.3.3 de BS 5500:1982.

PD 6550-11989 Suplemento explicativo de BS 5500:1988 Especificación para recipientes a presión soldados por fusión no sometidos a llama. Apartado tres. Diseño. Extremos abovedados.

PD 6550-2-1989 Suplemento explicativo de BS 5500:1988 Especificación para recipientes a presión soldados por fusión no sometidos a llama. Apartado tres. Diseño. Aberturas y bifurcaciones.

PD 6550-3-11989 Suplemento explicativo de BS 5500:1988 Especificación para recipientes a presión soldados por fusión no sometidos a llama. Apartado tres. Diseño. Recipientes sometidos a presiones externas.

BS TH42069 1993 Recipientes a presión. Alemania.

BS TH42070 1993 Recipientes a presión. Francia.

EEMUA 190 2000 Guía para el diseño, construcción y uso de recipientes cilíndricos horizontales cubiertos de tierra para el almacenamiento a presión de GLP a temperatura ambiente.

IP 34/99 Determinación del punto de inflamación. Método Pensky-Martens en vaso cerrado IP-ASTM Método Combinado ASTM D 93-97.

IP 35/63 (86) Determinación de los puntos de inflamación y de combustión en vaso abierto. Método Pensky-Martens. Normas equivalentes: BS 2000: Parte 35: 1993.

IP 36/84 (89) Determinación de los puntos de inflamación y de combustión en vaso abierto. Método Cleveland IP-ASTM Método combinado ASTM D 92-97.

IP 170/99 Productos petrolíferos y otros líquidos. Determinación del punto de inflamación. Método Abel en vaso cerrado. Normas equivalentes: BS 2000: Parte 170: 1998; \BS EN ISO 13736: 1998; ISO 13736: 1997.

IP 303/83 (88) Determinación del punto de inflamación en vaso cerrado. Método del equilibrio rápido IP-ASTM Método combinado ASTM D 3828-97.

IP 304/80 Determinación del punto de inflamación. Método del equilibrio en vaso cerrado.

IP 403/94 Productos petrolíferos. Determinación de los puntos de inflamación y de combustión. Método Cleveland en vaso abierto. Normas equivalentes: BS 2000: Parte 403: 1994; BS EN 22592: 1994; ISO 2592: 1973.

IP 404/94 Productos petrolíferos y lubricantes. Determinación del punto de inflamación. Método Pensky-Martens en vaso cerrado. Normas equivalentes: BS 2000: Parte 404: 1994; BS EN 22719: 1994; ISO 2719: 1988.

IP 410/99 Productos petrolíferos licuados. Determinación de la presión de vapor relativa. Método del GLP.

3.3 Francia

CODAP 95 Código francés para la construcción de recipientes a presión no sometidos a llama.

3.4 Países Bajos

Reglas para recipientes a presión. Código holandés para la construcción de recipientes a presión no sometidos a llama. Apartado D.

CPR 12E Nr. 98/11 3 februari 1998 Berekeningsmethoden voor opstellen risicoanalyse gevaarlijke stoffen.

CPR-12 Nr. 97/13128 juli 1997 Methoden voor het bepalen en verwerken van kansen.

CPR 12E 1 noviembre 1999 N° 99/194 Métodos para determinar y procesar probabilidades.

CPR 13-1 Amoníaco, almacenamiento y carga.

CPR 14E N° 97/13128 julio 1997 Métodos para calcular efectos físicos.

CPR 14E 1 noviembre 1999 N° 99/194 Métodos para calcular efectos físicos.

CPR 15-1 1994 Richtlijn 15-1 van de CPR, getiteld 'Opslag gevaarlijke stoffen in emballage; Opslag van vloeistoffen en vaste stoffen (0 ton tot 10 ton)', tweede druk, uitgave 1994.

CPR 15-2 1991 Richtlijn 15-2 van de CPR, getiteld 'Opslag gevaarlijke stoffen, chemische afval stoffen en bestrijdingsmiddelen in emballage; opslag van grote hoeveelheden', eerste druk, 1991.

CPR 16 Nr. 97/13128 juli 1997 Methoden voor het bepalen van mogelijke schade aan mensen en goederen.

CPR 16E 1 noviembre 1999 N° 99/194 Métodos para determinar los posibles daños.

CPR 17-1 Nr. 98/88 25 mei 1998 De richtlijn aardgas-afleverstations voor motorvoertuigen.

CPR 17-2 11 januari 1999 Nr. 99/001 Richtlijn voor het veilig stellen en repareren van motorvoertuigen.

CPR 17-3 16 maart 1999 Nr. 99/038 Concept richtlijn voor installaties voor de in pandige aflevering van gecompriemd aardgas aan motorvoertuigen (Concept CPR 17-3).

CPR 18E 1 noviembre 1999 N° 99/194 Directrices para la evaluación cuantitativa de los riesgos.

CPR 20 31 januari 2000 Nr. 2000/013 RIB, Rapport Informatie-eisen BRZO'99.

4. ALMACENAMIENTO REFRIGERADO

4.1 Estados Unidos de América

API 620 1-FEB-1996 Diseño y construcción de tanques soldados de baja presión y gran tamaño. Novena Edición. Apéndice Q. Líquidos a -168 °C.

API 620 1-FEB-1996 Diseño y construcción de tanques soldados de baja presión y gran tamaño. Novena Edición. Apéndice R. Líquidos a -51 °C.

API 2000 1-ABR-1998 Venteo de tanques atmosféricos de baja presión: No refrigerados y refrigerados.

NFPA 50 Norma para sistemas de oxígeno a granel y puntos de consumo. Edición de 1996.

NFPA 50A Norma para sistemas de hidrógeno gaseoso y puntos de consumo. Edición de 1999.

NFPA 50B Norma para sistemas de hidrógeno licuado y puntos de consumo. Edición de 1999.

NFPA 57 Gas natural licuado (GNL). Código de sistemas de combustible. Edición de 1999.

NFPA 59 Norma para el almacenamiento y manipulación de gases licuados del petróleo en plantas de gas para distribución. Edición de 1998.

NFPA 59A Norma para la producción, almacenamiento y manipulación de gas natural licuado (GNL). Edición de 1996.

UL 641 1994 Sistemas de venteo de baja temperatura de tipo L.

UL 873 1994 Equipos de indicación y regulación de la temperatura.

4.2 Reino Unido

BS 5429-1976 Código práctico para la explotación segura de instalaciones de almacenamiento de pequeña escala para líquidos criogénicos.

BS 6364-1984 Especificación para válvulas de servicio criogénico.

BS EN 1160-1997 Instalaciones y equipos para gas natural licuado. Características generales del gas natural licuado.

BS 7777-1 1993 Tanques verticales, cilíndricos y de fondo plano para servicio de baja temperatura. Parte 1: Guía sobre las disposiciones generales aplicables al diseño, construcción, instalación y explotación.

BS 7777-2 1993 Tanques verticales, cilíndricos y de fondo plano para servicio de baja temperatura. Parte 2: Especificación para el diseño y la construcción de tanques metálicos de contención simple, doble y completa para el almacenamiento de gas licuado a temperaturas de -165 °C.

BS 7777-3 1993 Tanques verticales, cilíndricos y de fondo plano para servicio de baja temperatura. Parte 3: Recomendaciones para el diseño y la construcción de tanques y cimentaciones de hormigón pretensado y armado, y el diseño e instalación de revestimientos y aislamientos para tanques.

BS 7777-4 1993 Tanques verticales, cilíndricos y de fondo plano para servicio de baja temperatura. Parte 4: Especificación para el diseño y construcción de tanques de contención simple para el almacenamiento de oxígeno, nitrógeno y argón líquidos.

EEMUA 147 Recomendaciones para el diseño y construcción de tanques refrigerados de gas licuado.

IP 34/99 Determinación del punto de inflamación. Método Pensky-Martens en vaso cerrado IP-ASTM Método Combinado ASTM D 93-97.

IP 35/63 (86) Determinación de los puntos de inflamación y de combustión en vaso abierto. Método Pensky-Martens. Normas equivalentes: BS 2000: Parte 35: 1993.

IP 36/84 (89) Determinación de los puntos de inflamación y de combustión en vaso abierto. Método Cleveland IP-ASTM Método combinado ASTM D 92-97.

IP 170/99 Productos petrolíferos y otros líquidos. Determinación del punto de inflamación. Método Abel en vaso cerrado. Normas equivalentes: BS 2000: Parte 170: 1998; \BS EN ISO 13736: 1998; ISO 13736: 1997.

IP 251/76 Medición estática de los hidrocarburos líquidos refrigerados. Publicado en la parte XII, apartado 1, del Manual API de normas de medición de productos petrolíferos.

IP 252/76 Medición estática de los hidrocarburos líquidos refrigerados. Publicado en la parte XIII, apartado 1, del Manual API de normas de medición de productos petrolíferos.

IP 264/72 (85) Determinación de la composición del GLP y propeno concentrados. Cromatografía de gases. Método IP-ASTM Método combinado ASTM D 2163-91 (96).

IP 303/83 (88) Determinación del punto de inflamación en vaso cerrado. Método del equilibrio rápido IP-ASTM Método combinado ASTM D 3828-97.

IP 304/80 Determinación del punto de inflamación. Método del equilibrio en vaso cerrado.

IP 317/95 Determinación de los residuos de los gases licuados del petróleo (GLP). Método de la evaporación a baja temperatura IP-ASTM Método combinado ASTM D 2158-92. Normas equivalentes: BS 2000: Parte 317: 1995.

IP 337/78 (95) Composición del gas natural no asociado. Método cuantitativo de la cromatografía de gases.

IP 345/80 Composición del gas natural asociado. Método de la cromatografía de gases.

IP 395/98 Gases licuados del petróleo. Determinación de la sequedad del propano. Método de congelación de la válvula IP-ASTM. Método combinado ASTM D 2713-91 (95). Normas equivalentes: BS 2000: Parte 395: 1997; BS EN ISO 13758: 1997; ISO 13758: 1996.

IP 403/94 Productos petrolíferos. Determinación de los puntos de inflamación y de combustión. Método Cleveland en vaso abierto. Normas equivalentes: BS 2000: Parte 403: 1994; BS EN 22592: 1994; ISO 2592: 1973.

IP 404/94 Productos petrolíferos y lubricantes. Determinación del punto de inflamación. Método Pensky-Martens en vaso cerrado. Normas equivalentes: BS 2000: Parte 404: 1994; BS EN 22719: 1994; ISO 2719: 1988.

IP 405/94 Butano y propano comercial. Análisis por cromatografía de gases. Normas equivalentes: BS 2000: Parte 405: 1994; BS EN 27941: 1994; ISO 7941: 1988.

IP 410/99 Gases licuados del petróleo. Determinación de la presión de vapor. Método GLP. Normas equivalentes: BS 2000: Parte 410: 1998; BS EN ISO 4256: 1998; ISO 4256: 1996.

IP 432/2000 Gases licuados de petróleo. Método de cálculo de la densidad y de la presión de vapor. Normas equivalentes: BS 2000: Parte 432: 1999; BS EN ISO 8973: 1999; ISO 8973: 1997.

IP PM CD/96 Determinación de la composición de los gases licuados del petróleo. Método de cromatografía de gases. Método propuesto.

Código de prácticas seguras, modelo IP GLP, volumen 1, parte 9. Almacenes a presión de gran tamaño y GLP refrigerado.

4.3 Alemania

EN 14620 Especificación para el diseño y fabricación de tanques metálicos construidos en el lugar de emplazamiento, verticales, cilíndricos, de fondo plano, para el almacenamiento de gases licuados a temperaturas entre -5 °C y -165 °C.

4.4 Países Bajos

Reglas para recipientes a presión. Código holandés para la construcción de recipientes a presión no sometidos a llama. Apartado G. Apartados G804 y G805.

CPR 8-3 Distributiedepots voor LPG – Holandés.

CPR 11-6 Nr. 98/88 25 mei 1998 Propaan. Vulstations voor spuitbussen met propaan, butaan en demethyl-ether als drijfgas.

CPR 12E Nr. 98/11 3 februari 1998 Berekeningsmethoden voor opstellen risicoanalyse gevaarlijke stoffen.

CPR-12 Nr. 97/13128 juli 1997 Methoden voor het bepalen en verwerken van kansen.

CPR 12E 1 November 1999 Nr. 99/194 Methods for determining and processing probabilities.

CPR 13 Nr. 99/137 21 juli 1999 Richtlijnen voor opslag en verlading van ammoniak en voor de toepassing van ammoniak als koudemiddel in koelinstallaties en warmtepompen.

CPR 13-1 Nr. 98/88 25 mei 1998 De opslag en verlading van ammoniak.

CPR 13-1 Nr. 99/137 21 juli 1999 Ammoniak; opslag en verlading.

CPR 13-2 Nr. 99/137 21 juli 1999 Ammoniak; toepassing als koudemiddel in koelinstallaties en warmtepompen.

CPR 14E N° 97/13128 julio 1997 Métodos para calcular efectos físicos.

CPR 14E 1 noviembre 1999 N° 99/194 Métodos para calcular efectos físicos.

CPR 15-1 1994 Richtlijn 15-1 van de CPR, getiteld 'Opslag gevaarlijke stoffen in emballage; Opslag van vloeistoffen en vaste stoffen (0 ton tot 10 ton)', tweede druk, uitgave 1994.

CPR 15-2 1991 Richtlijn 15-2 van de CPR, getiteld 'Opslag gevaarlijke stoffen, chemische afval stoffen en bestrijdingsmiddelen in emballage; opslag van grote hoeveelheden', eerste druk, 1991.

CPR-16 Nr. 97/13128 juli 1997 Methoden voor het bepalen van mogelijke schade aan mensen en goederen.

CPR 16E 1 noviembre 1999 N° 99/194 Métodos para determinar los posibles daños.

CPR 18E 1 noviembre 1999 N° 99/194 Directrices para la evaluación cuantitativa de los riesgos.

CPR 20 31 januari 2000 Nr. 2000/013 RIB, Rapport Informatie-eisen BRZO'99.

5. CONTENEDORES ISO O INTERMEDIOS

5.1 Estados Unidos de América

AS/NZS 3833-1998 5-SEP-1998. Almacenamiento y manipulación de clases diferentes de mercancías peligrosas en embalajes y contenedores intermedios.

ABS 13-1998 1998 Reglas para la certificación de contenedores de carga.

AMCA 99 1986 Manual de normas.

ANSI MH26.1-1998 1998 Especificaciones para contenedores metálicos industriales.

ANSI MH5.1.3M-1992 1992 Requisitos de los contenedores cisterna para líquidos y gases.

ANSI MH5.1.5-1990 1990 Contenedores *dry van* cerrados para transporte por carretera o ferrocarril.

ANSI MH5.1.9-1990 1990 Contenedores de transporte. Identificación automática.

ANSI PRD1-1998 1998 Dispositivos de alivio de presión para contenedores de combustible para vehículos a gas natural.

ARI Guideline K (1997) 1997 Contenedores para refrigerantes fluorocarbonados recuperados.

ARI Guideline N (1995) 1995 Asignación de colores a los contendores de refrigerantes.

AS 2278-1986 1986 Envases metálicos para aerosoles.

AS 2278-1986 Modificación 1 1-JUN-1988 Envases metálicos para aerosoles.

ASTM C148-00 2000 Método de ensayo estándar para examen polariscópico de envases de vidrio.

ASTM C149-86(1995) 31-ENE-1986 Método de ensayo estándar de la resistencia al choque de temperatura de envases de vidrio.

ASTM C224-78(R1999) 27-ENE-1978 Práctica estándar para la toma de muestras de envases de vidrio.

ASTM C225-85(R1999) 26-JUL-1985 Método de ensayo estándar de la resistencia de los envases de vidrio a las agresiones químicas.

ASTM D2463-95 10-NOV-1995 Método de ensayo estándar de la resistencia a los impactos por caída de los envases termoplásticos moldeados por extrusión-soplado.

ASTM D2561-95 10-NOV-1995 Método de ensayo estándar de la resistencia a las grietas de tensión de los envases de polietileno moldeados por extrusión-soplado.

ASTM D2659-95 10-NOV-1995 Método de ensayo estándar de apilamiento. Propiedades de los envases termoplásticos moldeados por extrusión-soplado.

ASTM D2684-95 10-NOV-1995 Método de ensayo estándar de la permeabilidad de los envases termoplásticos a los reactivos envasados o productos sin denominación común internacional.

ASTM D3074-94 15-NOV-1994 Método de ensayo estándar para determinar la presión de los envases metálicos para aerosoles.

ASTM D3694-95 15-FEB-1995 Prácticas estándar para la preparación de envases de muestras y la conservación componentes orgánicos.

ASTM D3844-96 10-JUN-1996 Guía estándar para el etiquetado de envases de hidrocarburos disolventes halogenados.

ASTM D4306-97 10-DIC-1997 Práctica estándar para envases de muestras de combustibles de aviación para ensayos afectados por la contaminación por trazas.

ASTM D4728-95 10-NOV-1995 Método de ensayo estándar para ensayos aleatorios de vibración de embalajes de transporte.

ASTM D4991-94(R1999) 15-JUN-1994 Método de ensayo estándar para la detección de fugas en envases rígidos vacíos mediante el método del vacío.

ASTM D6063-96 10-DIC-1996 Guía estándar para bidones de muestras y contenedores similares por parte del personal de campo.

ASTM D997-80(R1986) 3-MAR-1980 Método de ensayo estándar de caída libre para contenedores cilíndricos llenos.

ASTM D998-94 15-MAY-1994 Método de ensayo estándar de penetración de líquidos en contenedores de transporte llenos sumergidos.

ASTM D999-96 10-FEB-1996 Métodos estándar de ensayo de vibración de contenedores de transporte.

ASTM ES26-93 28-JUL-1993 Especificación estándar de emergencia para etiquetas de advertencia en contenedores de plástico abiertos de 5 galones de capacidad.

ASTM F1115-95 10-SEP-1995 Método de ensayo estándar para determinar las pérdidas de dióxido de carbono de los envases de bebidas.

ASTM F1615-95 10-SEP-1995 Especificación estándar para etiquetas de advertencia en contenedores de plástico abiertos de 5 galones de capacidad.

ASTM F302-78(R1989) 25-AGO-1978 Práctica estándar para la toma de muestras de campo de fluidos de uso aerospacial en contenedores.

ASTM F926-85 23-AGO-1985 Especificación estándar para el etiquetado de advertencia de contenedores portátiles de queroseno para uso particular.

EIA 556B 1-NOV-1999 Norma de etiquetado exterior de códigos de barras en contenedores de transporte.

EIA JEP130 1-AGO-1997 Directrices para el embalaje y etiquetado de circuitos integrados en embalajes unitarios.

IEC 60096-1 Modificación 2 25-JUN-1993 Modificación n° 2.

IEC 60249-1 Modificación 4 13-MAY-1993 Modificación n° 4.

IEC 60249-2-10 Modificación 3 18-MAY-1993 Modificación n° 3.

IEC 60249-2-11 Modificación 2 18-MAY-1993 Modificación nº 2.

IEC 60249-2-12 Modificación 2 18-MAY-1993 Modificación nº 2.

IEC 60249-2-14 Modificación 3 18-MAY-1993 Modificación nº 3.

IEC 60249-2-5 Modificación 3 13-MAY-1993 Modificación nº 3.

IEC 60249-2-6 Modificación 2 13-MAY-1993 Modificación nº 2.

IEC 60249-2-7 Modificación 2 13-MAY-1993 Modificación nº 2.

IEC 60249-2-9 Modificación 3 18-MAY-1993 Modificación nº 3.

IEC 60264-1 31-DIC-1969 Embalaje de bobinas de alambre. Parte 1: Contenedores para bobinas de alambre redondo.

IEC 60344 Modificación 1 1985 Modificación nº 1.

IEC 60390A 1976 Primer suplemento.

IEC 60708-1 Modificación 3 1988. Modificación nº 3.

IEC 60804 Modificación 1 15-SEP-1989. Modificación nº 1.

IEC 60804 Modificación 2 21-SEP-1993. Modificación nº 2.

IEEE C135.1-1999 30-DIC-1999 Acero, tuercas y pernos galvanizados para la construcción de líneas eléctricas aéreas.

UL 147B Modificación 1 1-MAR-1999 Estructuras para contenedores de metal de un solo uso para butano.

UL 2003 Resumen 28-AGO-1992 Norma propuesta. Estructuras contenedoras transportables para GLP.

CGA G-6.7 1996 Manipulación segura de contenedores de dióxido de carbono líquido que han perdido presión.

FED A-A-1235A 6-DIC-1984 Contenedores de plástico moldeados (para líquidos, pastas y polvos).

FED A-A-2597A 25-JUL-1996 Cubetas (recipientes para uso alimentario).

FED A-A-30132A 18-MAY-1987 Contenedores, agujas hipodérmicas y jeringuillas de un solo uso.

FED A-A-50019B 18-MAR-1988 Estantes móviles para envases de leche y estantes móviles para envases de huevos.

FED A-A-50486A 23-NOV-1992 Contenedores aislados para transporte.

FED A-A-51625B 24-NOV-1989 Contenedores para recogida de agujas hipodérmicas y jeringuillas usadas (sin retirar la aguja).

FED A-A-51703(DM) 13-OCT-1986 Contenedor y bomba, dental (enjuague bucal).

FED A-A-52193A 18-JUL-1994 Contenedor aislado para uso alimentario con separadores.

FED A-A-52486 13-DIC-1984 Soportes resistentes para contenedores de transporte: amortiguación de los impactos y las vibraciones.

FED A-A-58041 15-MAR-1995 Trailer, LD-3 Contenedores giratorios para transferencia lateral.

FED A-A-59209 15-ABR-1998 Contenedores de cartón para munición.

FED O-F-1044B 24-FEB-1975 Líquidos de arranque para motores de combustible: arranque en frío, en contenedores a presión y sin presión.

FED RR-C-550D 8-ABR-1991 Contenedores de fluidos para equipos de pulverización de pintura.

FED RR-C-550D Modificación 19-FEB-1993. Modificación 1. Contenedores de fluidos para equipos de pulverización de pintura.

5.2 Alemania

DIN 30823 MAR 1999 (borrador) Contenedores intermedios. Contenedores intermedios rígidos. Contenedores intermedios metálicos, de plástico rígido y compuestos para graneles. Dimensiones, diseño, requisitos y marcado.

DIN 55461-1 FEB 1990 Embalajes de grandes dimensiones. Contenedores intermedios flexibles. Conceptos, formas, dimensiones, ensayos dimensionales.

DIN 55461-2 JUL 1991 Embalajes de grandes dimensiones. Contenedores intermedios flexibles. Dimensiones.

DIN 10955 1-ABR-1983 Análisis mediante sensores. Ensayos de los materiales de los contenedores y de contenedores para uso alimentario.

DIN 168-1 1-DIC-1979 Roscas externas. Parte 1: especialmente para envases de vidrio. Tamaños de rosca.

DIN EN ISO 15867 NOV 1997 (borrador) Contenedores intermedios para materias no peligrosas. Terminología.

ISO/DIS 11895 ENE 1996 (borrador) Especificación para contenedores intermedios flexibles para materias no peligrosas.

98/714098 DC ABR 2000 (borrador) Contenedores intermedios flexibles en paleta para materias no peligrosas.

ISO 10327 1-FEB-1995 Contenedor certificados para transporte aéreo. Especificación y ensayos.

ISO 10374 1-OCT-1991 Contenedores de transporte. Identificación automática.

ISO 11242 1-JUN-1996 Requisitos de equilibrio de presión para contenedores de transporte aéreo de mercancías.

ISO 11418-1 1-OCT-1996 Contenedores y accesorios para preparados farmacéuticos. Parte 1: Frascos cuentagotas.

ISO 11418-2 1-OCT-1996 Contenedores y accesorios para preparados farmacéuticos. Parte 2: Frascos de rosca para jarabes.

ISO 11418-4 1-OCT-1996 Contenedores y accesorios para preparados farmacéuticos. Parte 4: Frascos para comprimidos.

ISO 11418-5 1-OCT-1997 Contenedores y accesorios para preparados farmacéuticos. Parte 5: Cuentagotas.

ISO 1161 1984 Contenedores de la serie 1. Cantoneras. Especificación.

ISO 1496-1 1990 Contenedores de la serie 1. Especificación y ensayos. Parte 1: Contenedores para uso general. Incluye modificaciones 1 (1993) y 2 (1998).

ISO 1496-1/AMD1 1-OCT-1993. Modificación 1 de ISO 1496-1:1990. Contenedores 1AAA y 1BBB.

ISO 1496-2 1996 Contenedores de la serie 1. Especificación y ensayos. Parte 2: Contenedores térmicos. Incluye corrección técnica 1:1997.

ISO 1496-3 1995 Contenedores de la serie 1. Especificación y ensayos. Parte 3: Contenedores cisterna para líquidos, gases y graneles secos a presión.

ISO 1496-4 1991 Contenedores de la serie 1. Especificación y ensayos. Parte 4: Contenedores no presurizados para graneles secos.

ISO 1496-4/AMD1 1-OCT-1994. Modificación 1 de ISO 1496-4:1991. Contenedores 1AAA y 1BBB.

ISO 1496-5 1991 Contenedores de la serie 1. Especificación y ensayos. Parte 5: Contenedores tipo plataforma.

ISO 1496-5/AMD1 1-OCT-1993. Modificación 1 de ISO 1496-5:1991. Contenedores 1AAA y 1BBB.

ISO 2308 1972 Ganchos para izar contenedores de hasta 30 toneladas de capacidad. Requisitos básicos.

ISO 3871 1-FEB-1980 (PUNTO HISTÓRICO) Etiquetado de contenedores para líquidos de freno derivados o no del petróleo.

ISO 3874 1988 (PUNTO HISTÓRICO) Contenedores de la serie 1. Manipulación y estiba.

ISO 3874 1-OCT-1997 Contenedores de la serie 1. Manipulación y estiba.

ISO 4118 1-ABR-1996 Contenedores no certificados para transporte aéreo en bodega. Especificación y ensayos.

ISO 4128 1-SEP-1985 Contenedores modulares para transporte aéreo.

ISO 6346 1995 Contenedores de carga. Codificación, identificación y marcado.

ISO 668 1995 Contenedores de la serie 1. Clasificación. Dimensiones y clases.

ISO 6967 1-SEP-1994 Contenedores para transporte en bodega principal/cargadoras de paletas en aviones de fuselaje ancho. Requisitos funcionales.

ISO 6968 1-SEP-1994 Contenedores para transporte en bodega inferior/cargadoras de paletas en aviones de fuselaje ancho. Requisitos funcionales.

ISO 7458 1984 Envases de vidrio. Resistencia a la presión interna. Métodos de ensayo.

ISO 7459 1984 Envases de vidrio. Resistencia al choque térmico y aguante al choque térmico. Métodos de ensayo.

ISO 8106 1985 Envases de vidrio. Determinación de la capacidad por el método gravimétrico. Método de ensayo.

ISO 8162 1985 Envases de vidrio. Boca corona alta. Dimensiones.

ISO 8163 1985 Envases de vidrio. Boca corona baja. Dimensiones.

ISO 8164 Envases de vidrio. Botellas de 520 ml forma euro. Dimensiones.

ISO 8167 1-OCT-1989 Proyecciones para soldadura por resistencia.

ISO 830 1981 (PUNTO HISTÓRICO) Contenedores de transporte. Terminología.

ISO 830 1-OCT-1999 Contenedores de transporte. Vocabulario.

ISO 8323 Contenedores de transporte. Contenedores para uso general aire/superficie (intermodal). Especificación y ensayos.

ISO 90-2 1-OCT-1997 Envases metálicos ligeros. Definiciones y determinación de las dimensiones y capacidades. Parte 2: Envases para uso general.

ISO 9009 1991 Envases de vidrio. Altura y falta de paralelismo boca-fondo. Métodos de ensayo.

ISO 9056 1990 Envases de vidrio. Perfiles de boca para la serie pilferproof. Dimensiones.

ISO 9057 1991 Envases de vidrio. Perfiles de boca para cierre con tapón irrelleable de 28 mm para líquidos a presión. Dimensiones.

ISO 9058 1992 Envases de vidrio. Tolerancias.

ISO 9100 1-OCT-1992 Envases de vidrio de boca ancha. Bocas para tapones de cierre al vacío. Dimensiones.

ISO 9669 Contenedores de la serie 1. Conexiones de los equipos para contenedores cisterna.

ISO 9711-1 1990 Contenedores de transporte. Información relativa a los contenedores a bordo de un buque. Parte 1: Sistema de planos de carga.

ISO 9711-2 1990 Contenedores de transporte. Información relativa a los contenedores a bordo de un buque. Parte 2: Transmisión de datos por télex.

ISO 9897 1-OCT-1997 Contenedores de transporte. Intercambio de datos de equipos para contenedor (CEDEX). Códigos generales de comunicación.

ISO/IEC 2258 31-DIC-1976 Cintas de impresión. Marcado mínimo que tienen que tener los contenedores.

ISO/TR 15070 1996 Contenedores de la serie 1. Razonamiento de los criterios para ensayos estructurales.

5.3 Reino Unido

BS 1133-7.7 1990 Código de embalaje. Envoltorios, bolsas y contenedores de papel y cartón. Contenedores compuestos.

BS 3951-2 apartado 2.5 1992 Contenedores de transporte. Especificación y ensayos de contenedores de transporte de la serie 1. Contenedores tipo plataforma.

BS 5045-1 Modificación 1 1-AGO-1986 Modificación 1. Contenedores de gas transportables. Parte 1: Especificación de contenedores de acero sin soldadura para gas con capacidades superiores a 0,5 litros de agua.

BS 5045-1 Modificación 2 1991 Modificación 2. Contenedores de gas transportables. Parte 1: Especificación de contenedores de acero sin soldadura para gas con capacidades superiores a 0,5 litros de agua.

BS 5045-1 Modificación 3 1-NOV-1993 Modificación 3. Contenedores de gas transportables. Parte 1: Especificación de contenedores de acero sin soldadura para gas con capacidades superiores a 0,5 litros de agua.

BS 5045-1 Modificación 4 1997 Modificación 4. Contenedores de gas transportables. Parte 1: Especificación de contenedores de acero sin soldadura para gas con capacidades superiores a 0,5 litros de agua.

BS 5045-1 Modificación 5 15-SEP-1997 Modificación 5. Contenedores de gas transportables. Parte 1: Especificación de contenedores de acero sin soldadura para gas con capacidades superiores a 0,5 litros de agua.

BS 5045-5 1986 Contenedores de gas transportables. Especificación para contenedores de aleación de aluminio con capacidades superiores a 0,5 litros y hasta 130 litros de capacidad de agua con soldaduras.

BS 5045-6 1987 Contenedores de gas transportables. Especificación para contenedores sin soldadura de menos de 0,5 litros de capacidad de agua.

BS 5430-1 31-MAY-1990 Inspección, ensayo y mantenimiento periódicos de contenedores de gas transportables (excepto contenedores de acetileno disuelto). Especificación para contenedores de acero sin soldadura con capacidades de 0,5 litros o más.

BS 5430-2 31-DIC-1990 Inspección, ensayo y mantenimiento periódicos de contenedores de gas transportables (excepto contenedores de acetileno disuelto). Especificación para contenedores de acero con soldadura con capacidades de 0,5 l hasta 150 l de agua.

BS 5430-3 31-DIC-1990 Inspección, ensayo y mantenimiento periódicos de contenedores de gas transportables (excepto contenedores de acetileno disuelto). Especificación para contenedores de aleación de aluminio sin soldadura con capacidades de 0,5 litros de agua o más.

BS 5430-6 15-JUL-1994 Inspección, ensayo y mantenimiento periódicos de contenedores de gas transportables (excepto contenedores de acetileno disuelto). Especificación para contenedores de acero y aleación de aluminio sin soldadura con capacidades inferiores a 0,5 litros de agua.

BS 7320 Modificación 1 15-MAY-1994 Especificación de recipientes para objetos punzantes.

BS 7864 1997 Especificación para contenedores de plástico para revestimientos de superficie.

BS EN 20090-2 1993 Envases metálicos ligeros. Definiciones y métodos de determinación de las dimensiones y capacidades. Parte 2: Envases para uso general.

BS EN 20090-2 Modificación 1 1-MAR-1993 Modificación 1. Envases metálicos ligeros. Definiciones y métodos de determinación de las dimensiones y capacidades. Parte 2: Envases para uso general.

BS EN 28362-1 1993 Recipientes para productos inyectables y accesorios. Parte 1: Viales de inyección hechos de tubo de vidrio.

BS EN 28362-2 1993 Recipientes para productos inyectables y accesorios. Parte 2: Cierres para viales inyectables.

BS EN 28362-3 1993 Recipientes para productos inyectables y accesorios. Parte 3: Tapas de aluminio para viales de inyección.

BS EN 28362-4 1993 Recipientes para productos inyectables y accesorios. Parte 4: Viales de inyección hechos de vidrio moldeado.

5.4 Francia

AFNOR NF M 88-610 1970 Industria petrolera. Placa de calibración para contenedores.

6. CAVIDADES PARA ALMACENAMIENTO DE GLP A PRESIÓN O PETRÓLEO

6.1 Estados Unidos de América

API 1114 1-JUN-1994 Diseño de cavidades salinas obtenidas por disolución.

API 1115 1-SEP-1994 Explotación de cavidades salinas obtenidas por disolución.

6.2 Reino Unido

BS EN 1918-3 1998 Sistemas de suministro de gas. Almacenamiento subterráneo de gas. Recomendaciones funcionales para el almacenamiento en cavidades salinas obtenidas por disolución.

BS EN 1918-4 1998 Sistemas de suministro de gas. Almacenamiento subterráneo de gas. Recomendaciones funcionales para el almacenamiento en cavidades de roca.

BS EN 1918-5 1998 Sistemas de suministro de gas. Almacenamiento subterráneo de gas. Recomendaciones funcionales para instalaciones de superficie.

CAS Z341-98 1-DIC-1998 Almacenamiento subterráneo de hidrocarburos.

7. DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS. NORMAS, CÓDIGOS Y REGLAMENTOS. EJEMPLO TÍPICO DEL REINO UNIDO

N° de serie	Título	Publ.	ISBN
	Industria química:		
HSG71	Chemical warehousing – Storage of packaged dangerous substances (Revised)	1998	0 7176 1484 0
	Otros informes de accidentes/incidentes:		
	Fire and explosions at BandR Hauliers, Salford 25-9-82	1983	0 11 883702 8
	Fire at Allied Colloids, Bradford on 21 July 1992	1994	0 7176 0707 0
	Fire at Hickson and Welch	1994	0 7176 0702 X
	A report of the investigations into the fires and explosions at BP Oil, Grangemouth and Dalmeny, 13 and 22 March and 11 June 1987	1989	0 11 885493 3
	A report of the HSE investigation into the chemical release and fire at the Associated Octel Comp. Ltd.	1996	0 7176 0830 1
	The explosion and fires on the Pembroke Cracking Company plant at the Texaco refinery, Milford Haven on 24 July 1994	1997	0 7176 1413 1
HSG51	The storage of flammable liquids in containers	1998	0 7176 1471 9
HSG135	Storage and handling of industrial nitrocellulose	1995	0 7176 0694 5
HSG71	Chemical warehousing – Storage of packaged dangerous substances (Revised)	1998	0 7176 1484 0
HSG158	Flame arresters – Preventing the spread of fires and explosions in equipment that contains flammable gases and vapours	1996	0 7176 1191 4
HSG176	The storage of flammable liquids in tanks	1998	0 7176 1470 0
HSG186	The bulk transfer of dangerous liquids and gases between ship and shore	1999	0 7176 1644 4
INDG230	Storage and handling ammonium nitrate	1996	Single copy available

N° de serie	Título	Publ.	ISBN
CS3	Storage and use of sodium chlorate and other similar strong oxidants	1998	0 7176 1500 6
CS15	Cleaning and gas freeing of tanks containing flammable residues	1985	0 7176 1365 8
CS18	Storage and handling of ammonium nitrate	1986	0 11 883937 3
CS21	Storage and handling of organic peroxides	1991	0 7176 2403 X

8.2. Sustancias peligrosas y su clasificación

[84, TETSP, 2001]

Advertencia al lector: el contenido de este anexo refleja la situación de los reglamentos a 1 de abril de 2001. Este anexo se irá actualizando con los cambios que se vayan sucediendo en lo relativo a la clasificación de las sustancias peligrosas a partir de esta fecha.

1 Antecedentes

La clasificación de las sustancias peligrosas es el proceso de identificar sus propiedades peligrosas utilizando métodos de ensayo apropiados y asignarlas a una o más clases de riesgo comparando los resultados de los ensayos con los criterios de clasificación. Los preparados y mezclas pueden clasificarse mediante ensayos o bien aplicando métodos de cálculo basados en la concentración de sus componentes peligrosos.

Hay que tener en cuenta que los sistemas de clasificación descritos en este capítulo no abarcan necesariamente todos los criterios exigidos en la legislación relativa al almacenamiento de mercancías peligrosas en todos los Estados miembros de la Unión Europea. Por ejemplo, en algunas partes de Bélgica, esta legislación contempla puntos de inflamación de hasta 250 °C.

2 Sistemas reglamentarios de clasificación

En Europa, existen dos sistemas reglamentarios de clasificación básicos que ofrecen información importante en materia de almacenamiento de mercancías peligrosas y sobre la naturaleza de los peligros asociados.

2.1 LEGISLACIÓN DE LA UNIÓN EUROPEA RELATIVA AL SUMINISTRO

Hay dos directivas principales:

- 67/548/CEE. Sustancias peligrosas. Directiva modificada;
- 1999/45/CE. Preparados peligrosos. Directiva modificada.

Otra directiva importante es la 91/155/CEE Fichas de datos de seguridad. Directiva modificada.

2.2 LEGISLACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

En todo el mundo, la legislación relativa al transporte se basa en las recomendaciones de las Naciones Unidas sobre el transporte de mercancías peligrosas (UN RTDG), más conocidas como el Libro Naranja. Se trata de recomendaciones, no normativas, por lo que no tienen valor legal. Sin embargo, se incluyen en la normativa internacional de diferentes modalidades de transporte:

- marítimo, mundial: código marítimo internacional de mercancías peligrosas (IMDG);
- aéreo, mundial: instrucciones técnicas de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI);
- carretera, Europa: acuerdo ADR;
- ferrocarril, Europa: acuerdo RID.

En Europa, los acuerdos ADR y RID se traducen a escala nacional en las siguientes directivas:

- carretera: 94/55/CE sobre la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros con respecto al transporte de mercancías peligrosas por carretera. (Directiva marco ADR).
- ferrocarril: 96/49/CE sobre la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros con respecto al transporte de mercancías peligrosas por ferrocarril. (Directiva marco RID).

Dadas las diferencias en los niveles de riesgo de cada modalidad de transporte, la normativa internacional de las diferentes modalidades de transporte no plasma las UN RTDG en su totalidad. En consecuencia, se observan pequeñas diferencias entre una legislación y otra. A los efectos del presente capítulo, las referencias al transporte deberán interpretarse de acuerdo con las recomendaciones UN RTDG a menos que se indique lo contrario.

3 Alcance de los sistemas reglamentarios de clasificación

Los sistemas de clasificación dividen las mercancías peligrosas en tres grupos de riesgos distintos:

- riesgos físicos y químicos,
- riesgos para la salud,
- riesgos ambientales.

Cada grupo está, a su vez, dividido en clases de riesgo y niveles de riesgo, pero existen disparidades en cuanto al alcance de estos dos sistemas reglamentarios.

3.1 SISTEMA DE SUMINISTRO EUROPEO

El sistema de suministro europeo clasifica las mercancías según las siguientes clases de riesgo:

riesgos físicos y químicos:

- explosivo,
- comburente,
- inflamable.

riesgos para la salud:

- toxicidad aguda. Efectos mortales o irreversibles producidos por una única exposición;
- toxicidad subaguda, subcrónica o crónica;
- corrosión e irritación;
- sensibilización;
- efectos específicos sobre la salud:
 - o carcinogenicidad,
 - o mutagenicidad,
 - o toxicidad reproductiva.

riesgos ambientales:

- medio acuático,
- medio no acuático.

Dentro de los riesgos ambientales para los medios no acuáticos se incluyen las sustancias relacionadas en el Anexo I del Reglamento del Consejo (CE) N°

2037/2000 sobre sustancias perjudiciales para la capa de ozono, y preparados que las contienen. En la actualidad no existen criterios de clasificación de los riesgos ambientales para medios no acuáticos en las directivas principales.

El Anexo V de la directiva 67/548/CEE relativa a las sustancias peligrosas contiene los ensayos y procedimientos para realizar su clasificación.

Algunas clases de riesgo no contienen ninguna diferenciación en niveles de riesgo.

3.2 SISTEMA DE TRANSPORTE SEGÚN LAS RECOMENDACIONES UN RTDG

El sistema de transporte según las recomendaciones UN RTDG contempla sustancias, mezclas (preparados) y también objetos, como por ejemplo las baterías (objetos no contemplados en el sistema de suministro de la UE). En concreto, se centra en los peligros inmediatos derivados de una única exposición y, por lo tanto, los riesgos para la salud contemplados por este sistema sólo incluyen efectos agudos. Todas las mercancías peligrosas clasificadas se suponen peligrosas para el ambiente, pero en estos momentos no existe ningún otro criterio para estos riesgos. En cambio, la legislación sobre las diferentes modalidades de transporte según los acuerdos ADR y RID sí que aporta criterios para clasificar la toxicidad para el medio acuático y contempla sustancias que no se han incorporado en ninguna otra clasificación. Dicha clasificación se basa en un subgrupo de los criterios de suministro de la UE. El código marítimo internacional de mercancías peligrosas (IMDG) posee su propio sistema, capaz de clasificar cualquier sustancia como «muy contaminante para el medio marino» o «contaminante para el medio marino», pero las mezclas sólo se pueden clasificar como «contaminantes para el medio marino». El sistema de transporte según las recomendaciones UN RTDG también contempla otros riesgos que no están incluidos en el sistema de suministro de la UE, como son los gases comprimidos, licuados, refrigerados o disueltos, riesgos biológicos y materias radioactivas. Las recomendaciones UN RTDG también son más exhaustivas que el sistema de suministro de la UE a la hora de describir los riesgos físicos y químicos.

El sistema de transporte según las recomendaciones UN RTDG clasifica las sustancias según las siguientes clases de riesgo y divisiones de clases de riesgo:

Clase 1 - Explosivos

- División 1.1 materias y objetos que presentan un riesgo de explosión en masa.
- División 1.2 materias y objetos que presentan un riesgo de proyección sin riesgo de explosión en masa.
- División 1.3 materias y objetos que presentan un riesgo de incendio, con ligero riesgo de efectos de llama o de proyección, o de ambos efectos, pero

sin riesgo de explosión en masa y:

(i) cuya combustión da lugar a una radiación térmica o

(ii) que arden unos a continuación de otros con efectos mínimos de llama o de proyección, o de ambos efectos.

División 1.4 materias y objetos que sólo presentan un pequeño riesgo.

División 1.5 materias muy insensibles que presentan un riesgo de explosión en masa.

División 1.6 objetos sumamente insensibles y que no presentan un riesgo de explosión en masa.

Clase 2 - Gases

División 2.1 gases inflamables.

División 2.2 gases no inflamables y no tóxicos (incluidos los gases comburentes).

División 2.3 gases tóxicos (incluidos los gases corrosivos).

Clase 3 - Líquidos inflamables

Clase 4 - Sólidos inflamables, sustancias sujetas a combustión espontánea, sustancias que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables.

División 4.1 sólidos inflamables, autorreactivos y sustancias relacionadas, y explosivos insensibilizados.

División 4.2 sustancias sujetas a combustión espontánea.

División 4.3 sustancias que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables.

Clase 5 - Sustancias comburentes y peróxidos orgánicos

División 5.1 sustancias comburentes.

División 5.2 peróxidos orgánicos.

Clase 6 - Sustancias tóxicas e infecciosas

División 6.1 sustancias tóxicas.

División 6.2 sustancias infecciosas.

Clase 7 - Materias radiactivas

Clase 8 - Sustancias corrosivas

Clase 9 - Sustancias y objetos peligrosos diversos (incluye riesgos ambientales de mercancías peligrosas no incluidas en las clases 1 a 8).

El Manual de ensayos y criterios UN RTDG contempla los métodos de ensayo, proce-

dimientos y criterios para la clasificación de mercancías peligrosas para el transporte. En la mayoría de las clases de riesgo se hace una división en niveles de riesgo, llamados grupos de embalaje. Los grupos de embalaje también sirven para determinar las normas de embalaje necesarias, pero dadas las propiedades de los explosivos, las sustancias autorreactivas y los peróxidos orgánicos, el grupo de embalaje no refleja su nivel de peligrosidad.

4 Comunicación de los riesgos dentro de los sistemas reglamentarios de clasificación

La comunicación de los riesgos dentro de los dos principales sistemas reglamentarios descritos en este capítulo también difiere.

En el sistema de suministro de la UE, la comunicación inmediata de los riesgos se efectúa por medio de una etiqueta, cuyos elementos están sometidos a las siguientes exigencias:

- denominación química de una sustancia o el nombre o denominación comercial de un preparado;
- denominación química de las sustancias presentes en un preparado;
- símbolos de peligro (pictograma cuadrado con fondo naranja);
- indicación de los peligros;
- frases de riesgo (frases R);
- consejos de prudencia (frases S);
- cantidad nominal (masa o volumen nominal), si son para venta al público;
- número CE de las sustancias;
- nombre, dirección y teléfono de contacto en caso de emergencia.

En las fichas de datos de seguridad del sistema de suministro de la UE se ofrece información más detallada. La ficha de datos de seguridad debe considerarse siempre la fuente principal de información para la comunicación de los riesgos a todos los efectos y, en particular, para el almacenamiento.

Según las recomendaciones UN RTDG, la información más inmediata se proporciona a través de la etiqueta, el número UN y el nombre técnico correcto en el embalaje que contiene las mercancías peligrosas. La etiqueta tiene forma de rombo, con un pictograma en la parte superior. El color de la etiqueta varía en función de la clase de riesgo. El código marítimo internacional de mercancías peligrosas (IMDG) posee una etiqueta para contaminantes marinos, consistente en un triángulo (parte superior del rombo) con la base en la parte inferior. Las recomendaciones UN RTDG ofrecen una lista de números UN y de reglas para componer el nombre técnico correcto. El nombre técnico correcto es normalmente el nombre del producto químico o de los principales productos químicos

que dan lugar a su clasificación, aunque la legislación europea en materia de transporte por carretera y ferrocarril y los acuerdos ADR y RID no lo exigen. Durante el transporte, existen diversas formas de facilitar información más detallada, pero los acuerdos ADR y RID suelen hacerlo en forma de una tarjeta de emergencia de transporte (TREMcard). Los servicios de emergencias utilizan las etiquetas de transporte y los números UN como su principal fuente de información inmediata.

5 Riesgos físicos y químicos

5.1 RIESGOS DE EXPLOSIÓN

5.1.1 *Sistema de la UE*

Se asigna a los explosivos el siguiente símbolo de peligro, junto con la mención de peligro «explosivo»:



También es obligatorio incluir una de las siguientes frases de riesgo:

- R2 Riesgo de explosión por choque, fricción, fuego u otras fuentes de ignición.
- R3 Alto riesgo de explosión por choque, fricción, fuego u otras fuentes de ignición.

5.1.2 *Sistema de transporte según las recomendaciones UN RTDG*

La parte I del Manual de ensayos y criterios UN RTDG describe otros ensayos, agrupados en siete series, para determinar cuál es la división correcta de los explosivos dentro de la Clase 1.

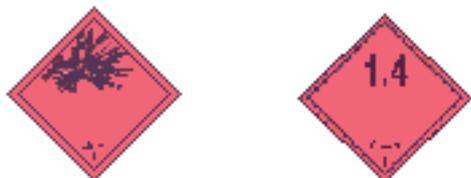
Los explosivos se definen de la siguiente manera:

- (a) un explosivo es una sustancia o una mezcla de sustancias sólidas o líquidas que, por sí sola, mediante una reacción química es capaz de producir un gas a tal temperatura, presión y velocidad que puede causar daños en las inmediaciones. Las sustancias pirotécnicas están incluidas en esta definición aunque no generen gases;

(b) una sustancia pirotécnica es una sustancia o una mezcla de sustancias destinada a producir un efecto calorífico, luminoso, sonoro, gaseoso o fumígeno, o una combinación de los mismos, gracias a reacciones químicas, exotérmicas, automantenidas y no detonantes;

(c) un objeto explosivo es un objeto que contiene una o más sustancias explosivas.

A las sustancias clasificadas como explosivos de las divisiones 1 a 3 se les asigna una etiqueta con un símbolo en forma de bomba. A las sustancias de las divisiones 4 a 6 se les asigna una etiqueta sin el símbolo en forma de bomba, pero con el número de división tal como se muestra en los siguientes ejemplos:



5.2 RIESGOS DE LAS SUSTANCIAS COMBURENTES Y LOS PERÓXIDOS ORGÁNICOS

5.2.1 *Sistema de la UE*

Esta clasificación abarca los peróxidos orgánicos, los peróxidos inorgánicos y otras sustancias comburentes. En lo que respecta a los peróxidos orgánicos, se pueden emplear los ensayos y criterios del anexo V de la directiva 67/548/CEE, relativa a las sustancias peligrosas, para determinar sus propiedades explosivas, pero no las comburentes. Los peróxidos orgánicos no clasificados como explosivos se clasifican según su estructura. Los preparados, por su parte, se clasifican utilizando un método de cálculo basado en el porcentaje de oxígeno activo. Cualquier peróxido orgánico o preparado se clasifica como comburente si el peróxido o su formulación contiene:

- más del 5 % de peróxidos orgánicos o
- más del 0,5 % de oxígeno disponible de peróxidos orgánicos, y más del 5 % de peróxido de hidrógeno.

Se les asigna el siguiente símbolo de peligro, junto con la indicación «comburente».



También es obligatorio incluir una de las siguientes frases de riesgo:

- R7 Puede provocar incendios.
- R8 Peligro de fuego en contacto con materias combustibles.
- R9 Peligro de explosión al mezclar con materias combustibles.

5.2.2 *Sistema de transporte según las recomendaciones UN RTDG*

Las recomendaciones UN RTDG clasifican las sustancias comburentes y los peróxidos orgánicos por separado.

(a) División 5.1 *Sustancias comburentes.*

Son aquellas sustancias que, aunque por sí solas no son necesariamente combustibles, son capaces de causar o favorecer la combustión de otro material, generalmente al producir oxígeno.

La clasificación distingue entre sólidos, líquidos y gases. Para los sólidos y los líquidos se han definido tres niveles de riesgo. La capacidad comburente de los gases de determina mediante ensayos según los métodos de cálculo adoptados por la ISO.

(b) División 5.2 *Peróxidos orgánicos.*

Los peróxidos orgánicos son materias que contienen la estructura bivalente -O-O- y pueden ser consideradas como derivados del peróxido de hidrógeno, en el cual uno o dos de los átomos de hidrógeno son sustituidos por radicales orgánicos.

Los peróxidos orgánicos son sustancias térmicamente inestables y que están sujetas a la descomposición exotérmica. La velocidad de descomposición aumenta con la temperatura. Además, pueden tener algunas de las siguientes propiedades:

- ser susceptibles de una descomposición explosiva,
- arder rápidamente,
- ser sensibles a los choques y a la fricción,
- reaccionar peligrosamente al entrar en contacto con otras sustancias,
- causar daños a la vista.

La clasificación distingue entre sólidos y líquidos, y se establecen siete niveles de riesgo (tipos A a G), aunque no se ha regulado el tipo G para el transporte.

A las sustancias comburentes y los peróxidos orgánicos de los tipos A a F se les asigna la misma etiqueta, que consiste en una llama encima de una «O»;



Algunos peróxidos orgánicos pueden someterse a condiciones de temperatura controlada o pueden haberse insensibilizado mediante diluyentes compatibles, como pueden ser líquidos o sólidos orgánicos, sólidos inorgánicos o agua, de forma que, en caso de vertido o incendio, el peróxido orgánico no alcance concentraciones peligrosas.

5.3 RIESGOS DE INFLAMABILIDAD

5.3.1 *Sistema de la UE*

Líquidos

La clasificación distingue tres niveles de riesgo:

- (a) Líquidos extremadamente inflamables con un punto de inflamación inferior a 0 °C y un punto de ebullición o un punto inicial de ebullición inferior o igual a 35 °C.

Se les asigna el siguiente símbolo de peligro, junto con la indicación «extremadamente inflamable».



Es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R12 Extremadamente inflamable.

- (b) Líquidos fácilmente inflamable con un punto de inflamación inferior a 21 °C que no están clasificados como extremadamente inflamables.

Se les asigna el siguiente símbolo de peligro, junto con la indicación «fácilmente inflamable».



Es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R11 Fácilmente inflamable.

(c) Líquidos inflamables con un punto de inflamabilidad igual o superior a 21 °C, e inferior o igual a 55 °C. Sin embargo, los preparados no tienen que clasificarse como inflamables si no favorecen la combustión y no existen motivos para pensar que pueda haber algún riesgo para las personas que los manipulen o para otras personas.

No se les asigna ningún símbolo o indicación de peligro.

También es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R10 Inflamable.

Sólidos

Hay un solo nivel de riesgo para los sólidos que pueden encenderse fácilmente tras entrar en contacto muy poco tiempo con una fuente de ignición y que siguen ardiendo hasta consumirse una vez que se retira dicha fuente de ignición.

Se les asigna el siguiente símbolo de peligro, junto con la indicación «fácilmente inflamable».



Es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R11 Fácilmente inflamable.

Gases

Hay un solo nivel de riesgo para los gases que son inflamables en contacto con el aire a temperatura y presión ambientes.

Se les asigna el siguiente símbolo de peligro, junto con la indicación «extremadamente inflamable».



Es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R12 Extremadamente inflamable.

Materias pirofóricas y de calentamiento espontáneo

Hay un solo nivel de riesgo para las mercancías peligrosas que se pueden calentar y encenderse en contacto con el aire a temperatura ambiente sin necesidad de un aporte de energía.

Se les asigna el siguiente símbolo de peligro, junto con la indicación «fácilmente inflamable».



Es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R17 Se inflama espontáneamente en contacto con el aire.

Materias que al reaccionar con el agua liberan gases inflamables

Hay un solo nivel de riesgo para las mercancías peligrosas hidrorreactivas que, en contacto con el agua o con la humedad del aire, liberan gases extremadamente inflamables a una velocidad mínima de un litro por kilogramo por hora.

Se les asigna el siguiente símbolo de peligro, junto con la indicación «fácilmente inflamable».



Es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R15 Reacciona con el agua liberando gases extremadamente inflamables.

5.3.2 Sistema de transporte según las recomendaciones UN RTDG

Líquidos

Son líquidos inflamables los líquidos, mezclas de líquidos, o líquidos que contienen sustancias sólidas en disolución o suspensión, como por ejemplo las pinturas, que despiden vapores inflamables a una temperatura no superior a los 60,5 °C, en cubeta cerrada, o no superior a 65,6 °C, en cubeta abierta, normalmente denominada punto de inflamabilidad.

La clasificación distingue tres niveles de riesgo:

(a) Mercancías muy peligrosas: grupo de embalaje I.

Líquidos inflamables con un punto de ebullición o punto inicial de ebullición inferior o igual a 35 °C.

(b) Mercancías medianamente peligrosas: grupo de embalaje II.

Líquidos inflamables con un punto de ebullición o punto inicial de ebullición superior a 35 °C y un punto de inflamación inferior a 23 °C.

(c) Mercancías poco peligrosas: grupo de embalaje III.

Líquidos inflamables con un punto de ebullición o punto inicial de ebullición superior a 35 °C, y un punto de inflamabilidad igual o superior a 23 °C, e inferior o igual a 60,5 °C. Sin embargo, los líquidos con un punto de inflamabilidad superior a 35 °C que no mantengan la combustión no estarán necesariamente clasificados como líquidos inflamables. Se considera que un líquido es incapaz de mantener su combustión (es decir, que no sigue ardiendo en unas condiciones de ensayo definidas) si:

- (i) ha superado una prueba de combustibilidad adecuada (ver Manual de ensayos y criterios UN RTDG);
- (ii) su punto de combustión de acuerdo con la norma ISO 2592:1973 es superior a 100 °C; o
- (iii) es una solución acuosa con un contenido de agua de más del 90 % en masa.

Todos los niveles de riesgo de los líquidos inflamables tienen la misma etiqueta:



Nota: Como ha habido excepciones en las recomendaciones UN RTDG, el grupo de embalaje no siempre resulta una buena referencia para saber los intervalos de inflamabilidad o de los puntos de inflamación de los preparados/mezclas a efectos de su almacenamiento.

(a) Algunas de las disposiciones de las recomendaciones UN RTDG permiten asignar a la categoría de sustancias poco peligrosas, grupo de embalaje III, mezclas líquidas viscosas con un punto de inflamación inferior a 23 °C. Esto suele depender de la combinación de algunas de las siguientes condiciones:

- la viscosidad expresada como el tiempo de flujo en segundos;
- el punto de inflamabilidad en cubeta cerrada;
- menos del 3 % de capa transparente del disolvente se separa en un ensayo de separación del disolvente; y
- no contiene ninguna sustancia clasificada dentro de la división 6.1 de toxicidad aguda ni dentro de la clase 8 de corrosividad.

(b) En las recomendaciones UN RTDG, algunos preparados/mezclas de la categoría de materias poco peligrosas, grupo de embalaje III, no tienen por qué estar regulados si:

- el punto de inflamabilidad está entre 23 °C y 60,5 °C;
- no están clasificados dentro de la división 6.1 de toxicidad aguda ni dentro de la clase 8 de corrosividad;
- no contienen más del 20 % de nitrocelulosa, siempre que la nitrocelulosa no contenga más del 12,6 % de nitrógeno en masa seca; y
- están envasados en recipientes con una capacidad inferior a 450 l.

y:

- menos del 3 % de capa limpia del solvente se separa en un ensayo de separación del solvente; y
- el tiempo de flujo obtenido con el ensayo de viscosidad con un diámetro de paso de 6 mm es igual o superior a:
 - o 60 segundos o
 - o 40 segundos si el preparado o mezcla viscoso sólo contiene líquidos inflamables.

Nota: Estas disposiciones no se aplican de manera homogénea en todas las legislaciones relativas a las modalidades de transporte.

Sólidos

Los sólidos inflamables se consideran fácilmente inflamables cuando, estando en forma de polvo, granos o pasta, resultan peligrosos porque se inflaman con facilidad al entrar brevemente en contacto con una fuente de ignición, como por ejemplo

una cerilla encendida, y su llama se propaga rápidamente. El peligro puede venir no solamente del propio fuego, sino también de la toxicidad de los productos derivados de la combustión. Los polvos metálicos resultan especialmente peligrosos porque resultan muy difíciles de apagar cuando se incendian, ya que los productos de extinción habituales, como el dióxido de carbono o el agua, no hacen más que incrementar su peligrosidad.

Los sólidos susceptibles de inflamarse por fricción también se definen como sólidos inflamables y se clasifican por analogía con las demás materias ya clasificadas (por ejemplo, las cerillas).

La clasificación distingue dos niveles de riesgo:

- (a) Mercancías medianamente peligrosas: grupo de embalaje II.
- (b) Mercancías poco peligrosas: grupo de embalaje III.

Todos los niveles de riesgo de los sólidos inflamables tienen la misma etiqueta:



Gases

Los gases inflamables son aquellos que, en condiciones de temperatura y presión normales, es decir 20 °C y 101,3 kPa:

- son inflamables en mezcla de proporción igual o inferior al 13 % en volumen con el aire; o
- tienen un rango de inflamabilidad con el aire de al menos el 12 % independientemente del límite inferior de inflamabilidad.

En general, la inflamabilidad se determina mediante ensayos o cálculos de acuerdo con los métodos adoptados por la ISO (ver ISO 10156:1996). Para el transporte, esta clasificación incluye los aerosoles y recipientes pequeños que contengan gas.

No se distinguen diferentes niveles de riesgo para los gases. Todos tienen la misma etiqueta:



Materias autorreactivas y sustancias afines

Las sustancias autorreactivas son aquellas que son térmicamente inestables y susceptibles de sufrir una descomposición muy exotérmica, incluso en ausencia de oxígeno. Las sustancias no se consideran autorreactivas si:

- son explosivos,
- son comburentes,
- son peróxidos orgánicos,
- su calor de descomposición es inferior a 300 J/g, o
- su temperatura de descomposición autoacelerada es superior a 75 °C para un bulto de 50 kg.

Las sustancias afines con las sustancias autorreactivas son aquellas que tienen una temperatura de descomposición autoacelerada superior a 75 °C. Son susceptibles de sufrir una descomposición muy exotérmica y, en determinados embalajes, pueden llegar a cumplir los criterios aplicables a los explosivos.

La descomposición de las sustancias autorreactivas puede iniciarse por el calor, el contacto con impurezas catalíticas (como ácidos, compuestos de metales pesados o bases), por fricción o por un impacto. La velocidad de descomposición aumenta con la temperatura y varía según la sustancia. La descomposición, sobre todo si no se produce ignición, puede generar gases o vapores tóxicos. En algunas sustancias autorreactivas, la temperatura tiene que estar controlada. Algunas sustancias autorreactivas pueden descomponerse de forma explosiva, sobre todo en ambientes confinados. Esta característica puede controlarse añadiendo diluyentes o empleando embalajes especiales. Algunas sustancias autorreactivas arden con gran fuerza. Por ejemplo, son sustancias autorreactivas algunos compuestos de los siguientes tipos:

- compuestos alifáticos azoicos (-C-N=N-C-),
- azidas orgánicas (-C-N₃),
- sales diazónicas (-CN₂+Z-),
- compuestos N-nitrosados (-N-N=O) y
- sulfohidrazidas aromáticas (-SO₂-NH-NH₂).

La clasificación distingue entre siete niveles de riesgo (tipos A a G), aunque no se ha regulado el tipo G para el transporte.

Los tipos A a F tienen la siguiente etiqueta:



Algunas sustancias autorreactivas se insensibilizan utilizando un diluyente. Este diluyente tiene que evitar que la sustancia autorreactiva llegue a concentraciones peligrosas en caso de fuga. Todo diluyente que se utilice deberá ser compatible con la materia autorreactiva. A este respecto, son diluyentes compatibles aquellos sólidos o líquidos que no tienen ningún efecto negativo sobre la estabilidad térmica y sobre el grado de peligrosidad de la materia autorreactiva.

Algunas sustancias autorreactivas pueden estar sujetas a exigencias de control de la temperatura. Los diluyentes líquidos en formulaciones que requieran un control de la temperatura tienen que tener un punto de ebullición de al menos 60 °C y un punto de inflamabilidad no inferior a 5 °C. El punto de ebullición del líquido tiene que ser, al menos, 50 °C más alto que la temperatura de control de la materia autorreactiva.

Explosivos insensibilizados

Los explosivos insensibilizados son sustancias que se humedecen con agua o alcoholes, o se diluyen con otras sustancias para anular sus propiedades explosivas.

Todos tienen la misma etiqueta:



Materias pirofóricas y de calentamiento espontáneo

Las materias pirofóricas y de calentamiento espontáneo se definen de la siguiente manera:

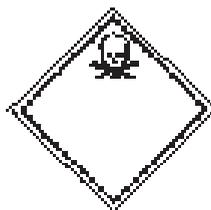
- Las materias pirofóricas son mercancías peligrosas líquidas o sólidas que, incluso en pequeñas cantidades, son capaces de inflamarse en cinco minutos tras entrar en contacto con el aire. Pueden experimentar una combustión espontánea.
- Las sustancias de calentamiento espontáneo son mercancías peligrosas líquidas o sólidas que no son pirofóricas y que, al entrar en contacto con el aire y sin aporte alguno de energía, son capaces de aumentar de temperatura. Estas sustancias sólo se inflamarán si están presentes en grandes cantidades (kilogramos) o tras estar expuestas durante mucho tiempo (horas o días), y se denominan materias de calentamiento espontáneo.

Cuando las mercancías peligrosas de calentamiento espontáneo dan lugar a una combustión espontánea, se debe a que reaccionan con el oxígeno y el calor generado no se puede disipar con la suficiente rapidez. La combustión espontánea se produce cuando la velocidad de producción del calor supera la velocidad de disipación del mismo y se alcanza la temperatura de autoinflamación.

La clasificación distingue tres niveles de riesgo:

- (a) Mercancías muy peligrosas - grupo de embalaje I: sustancias pirofóricas.
- (b) Mercancías medianamente peligrosas - grupo de embalaje II: sustancias de calentamiento espontáneo.
- (c) Mercancías poco peligrosas - grupo de embalaje III: sustancias de calentamiento espontáneo.

Todos los niveles de riesgo de las materias pirofóricas y de calentamiento espontáneo tienen la misma etiqueta:



Materias que al reaccionar con el agua liberan gases inflamables

Son las sustancias que, al entrar en contacto con el agua, pueden desprender gases inflamables que pueden formar mezclas explosivas con el aire. Estas mezclas se inflaman fácilmente con fuentes de ignición ordinarias, como por ejemplo llamas desnudas, herramientas que desprenden chispas o bombillas sin protección. Las llamas y la onda expansiva resultante pueden representar un peligro para el ambiente y para los seres humanos.

La clasificación distingue entre tres niveles de riesgo, basados en la velocidad con que se desprenden los gases inflamables:

(a) Mercancías muy peligrosas - grupo de embalaje I.

Emisión de gases inflamables a una velocidad mínima de diez litros por kilogramo por minuto.

(b) Mercancías medianamente peligrosas - grupo de embalaje II.

Emisión de gases inflamables a una velocidad mínima de veinte litros por kilogramo por hora.

(c) Mercancías poco peligrosas - grupo de embalaje III.

Emisión de gases inflamables a una velocidad mínima de un litro por kilogramo por hora.

Todos los niveles de riesgo de estas sustancias hidrorreactivas tienen la misma etiqueta:



5.4 OTRAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

5.4.1 *Sistema de la UE*

El sistema de la UE utiliza frases de riesgo adicionales que son aplicables a mercancías peligrosas que ya están clasificadas. Estas frases de riesgo no constituyen una clasificación. Son las siguientes:

R1 Explosivo en estado seco.

Para mercancías peligrosas explosivas comercializadas en forma disuelta o humedecida. Por ejemplo, la nitrocelulosa con más del 12,6 % de nitrógeno.

R4 Forma compuestos metálicos explosivos muy sensibles.

Para mercancías peligrosas que pueden formar derivados metálicos, sensibles y explosivos, como el ácido pícrico o el ácido estífnico.

R5 Peligro de explosión en caso de calentamiento.

Para mercancías peligrosas térmicamente inestables no clasificadas como explosivos, como el ácido perclórico > 50 %.

R6 Peligro de explosión, en contacto o sin contacto con el aire.

Para mercancías peligrosas que son inestables a temperatura ambiente, como el acetileno.

R7 Puede provocar incendios.

Para mercancías peligrosas reactivas, como el flúor o el hidrosulfito sódico.

R14 Reacciona violentamente con el agua.

Para mercancías peligrosas que reaccionan violentamente con el agua, como el cloruro de acetilo, los metales alcalinos o el tetracloruro de titanio.

R16 Puede explosionar en mezcla con sustancias comburentes.

Para mercancías peligrosas que reaccionan de forma explosiva con un comburente, como el fósforo rojo.

R18 Al usarlo pueden formarse mezclas aire-vapor explosivas/inflamables.

Para preparados no clasificados como inflamables y que contienen componentes volátiles que se inflaman con el aire.

R19 Puede formar peróxidos explosivos.

Para mercancías peligrosas que pueden formar peróxidos explosivos durante el almacenamiento, como el dietil éter o el 1,4-dioxano.

R30 Puede inflamarse fácilmente al usarlo.

Para preparados no clasificados como inflamables, pero que puedan acabar siéndolo por la pérdida de sus componentes volátiles no inflamables.

R44 Riesgo de explosión al calentarlo en ambiente confinado.

Para mercancías peligrosas no clasificadas como explosivas, pero que en la práctica pueden presentar propiedades explosivas cuando se calientan en un ambiente suficientemente confinado. Por ejemplo, algunas sustancias que se descompondrían de forma explosiva al calentarse en un bidón de acero no muestran este efecto al calentarse en contenedores más débiles.

5.4.2 Sistema de transporte según las recomendaciones UN RTDG

Corrosividad para los metales

Nota: No hay criterios equivalentes en el sistema de la UE.

Se define como una velocidad de corrosión sobre una superficie de acero o aluminio superior a 6,25 mm al año a una temperatura de ensayo de 55 °C.

Para las pruebas sobre acero, se deberá utilizar el tipo P235 (ISO 9328 (II):1991) o un tipo similar, y para las pruebas sobre aluminio, se deberán utilizar los tipos no revestidos 7075-T6 o AZ5GU-T6. Se dispone una prueba aceptable en la norma ASTM G31-72 (renovada en 1990).

Sólo se distingue un nivel de riesgo, grupo de embalaje III, al que se asigna el mismo nivel que el de las materias corrosivas para los tejidos vivos.



Gases

Las recomendaciones UN RTDG también clasifican los gases en los siguientes estados físicos:

- gas comprimido: gas no disuelto que, cuando se embala a presión para su transporte, es enteramente gaseoso a 20 °C;
- gas licuado: gas que, cuando se embala para su transporte, es parcialmente líquido a 20 °C;
- gas licuado refrigerado: un gas que, cuando se embala para su transporte, se encuentra parcialmente en estado líquido a causa de su baja temperatura; o
- Gas disuelto: gas que, cuando se embala para su transporte, se encuentra disuelto en un disolvente.

Esto comprende gases comprimidos; gases licuados; gases disueltos; gases licuados refrigerados; mezclas de gases; mezclas de uno o más gases con una o más sustancias de otras clases en forma de vapor; objetos llenos de gas; hexafluoruro de telurio; y aerosoles.

6 Riesgos para la salud

6.1 TOXICIDAD AGUDA

6.1.1 *Sistema de la UE*

Se contemplan tres vías de exposición:

-
- oral,
 - cutánea,
 - inhalación,

las cuales se dividen en tres niveles de riesgo:

- muy tóxico,
- tóxico,
- nocivo.

Toxicidad oral

Los criterios para determinar el nivel de riesgo más elevado, «muy tóxico», son los siguientes:

- DL50 por vía oral en rata: < 25 mg/kg;
- menos del 100 % de supervivencia a 5 mg/kg, vía oral, en rata, por el procedimiento de la dosis fija, o alta mortalidad con dosis < 25 mg/kg, vía oral, en rata, mediante el método de clasificación aguda.

Es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R28 Muy tóxico por ingestión.

Los criterios para el segundo nivel de riesgo, «tóxico», son los siguientes:

- DL50 por vía oral en rata: $25 < DL50 < 200$ mg/kg;
- dosis discriminante por vía oral en rata = 5 mg/kg: 100 % de supervivencia con toxicidad manifiesta; o
- alta mortalidad con un intervalo de dosis > 25 a < 200 mg/kg, vía oral, en rata, mediante el método de clasificación aguda.

Es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R25 Tóxico por ingestión.

Hay dos criterios diferentes para el nivel de riesgo más bajo, «nocivo», y son los siguientes:

(i) Toxicidad aguda por ingestión.

- DL50 por vía oral en rata: $200 < DL50 < 2000$ mg/kg;
- dosis discriminante por vía oral en rata = 50 mg/kg: 100 % de supervivencia con toxicidad manifiesta;
- menos del 100 % de supervivencia a 500 mg/kg, vía oral, en rata, por el procedimiento de la dosis fija; o
- alta mortalidad con un intervalo de dosis > 200 a < 2000 mg/kg, vía oral, en rata, mediante el método de clasificación aguda.

Es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R22 Nocivo por ingestión.

(ii) Riesgo de aspiración.

Sustancias y preparados líquidos que presentan riesgo de aspiración para las personas debido a su baja viscosidad:

(a) sustancias y preparados que contienen hidrocarburos alifáticos, alicíclicos o aromáticos en una concentración total igual o superior al 10 % y que tienen:

- un tiempo de flujo inferior a 30 s en un recipiente ISO con un diámetro de paso de 3 mm con arreglo a ISO 2431 (edición de abril de 1996/julio de 1999) relativa a «Pinturas y barnices - Determinación del tiempo de flujo empleando copas de flujo»;
- una viscosidad cinemática medida con un viscosímetro capilar de cristal calibrado con arreglo a ISO 3104/3105 inferior a $7 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ a 40 °C (ISO 3104, edición 1994, relativa a « Productos petrolíferos - Líquidos transparentes y opacos - Determinación de la viscosidad cinemática y cálculo de la viscosidad dinámica»; ISO 3105, edición de 1994, relativa a «Viscosímetros capilares de vidrio, de viscosidad cinemática - Especificaciones e instrucciones de uso»); o
- una viscosidad cinemática derivada de las mediciones de la viscosimetría rotacional con arreglo a ISO 3219 inferior a $7 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ a 40 °C (ISO 3219, edición de 1993, relativa a «Plásticos - Polímeros/resinas en estado líquido, en emulsión o en dispersión - Determinación de la viscosidad con el viscosímetro rotacional, con una velocidad de deformación en cizalla definida».
- Obsérvese que las sustancias y preparados que cumplen estos criterios no tienen por qué ser clasificados si su tensión superficial media es superior a 33 mN/m a 25 °C según el tensiómetro de Du Nouy o los métodos de ensayo recogidos en la parte A.5 del Anexo V.

(b) en el caso de las sustancias y preparados, según la experiencia práctica con personas.

Es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R65 Nocivo: si se ingiere puede causar daño pulmonar.

Toxicidad cutánea

Los criterios para determinar el nivel de riesgo más elevado, «muy tóxico», son los siguientes:

- DL50 por penetración cutánea en rata o conejo: < 50 mg/kg.

Es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R27 Muy tóxico en contacto con la piel.

El criterio para el segundo nivel de riesgo, «tóxico», es el siguiente:

- DL50 por penetración cutánea en rata o conejo: $50 < DL50 < 400$ mg/kg.

Es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R24 Tóxico en contacto con la piel.

El criterio para el nivel de riesgo más bajo, «nocivo», es el siguiente:

- DL50 por penetración cutánea en rata o conejo: $400 < DL50 < 2000$ mg/kg.

Es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R21 Nocivo en contacto con la piel.

Toxicidad por inhalación

Los criterios para determinar el nivel de riesgo más elevado, «muy tóxico», son los siguientes:

- CL50 por inhalación en rata para aerosoles o partículas: $< 0,25$ mg/litro/4 h;
- CL50 por inhalación en rata para gases y vapores: $< 0,5$ mg/litro/4 h.

Es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R26 Muy tóxico por inhalación.

El criterio para el segundo nivel de riesgo, «tóxico», es el siguiente:

- CL50 por inhalación en rata para aerosoles o partículas: $0,25 < CL50 < 1$ mg/litro/4 h;
- CL50 por inhalación en rata para gases y vapores: $0,5 < CL50 < 2$ mg/litro/4 h.

Es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R23 Tóxico por inhalación.

El criterio para el nivel de riesgo más bajo, «nocivo», es el siguiente:

- CL50 por inhalación en rata para aerosoles o partículas: $1 < CL50 < 5$ mg/litro/4 h;
- CL50 por inhalación en rata para gases y vapores: $2 < CL50 < 20$ mg/litro/4 h.

Es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R20 Nocivo por inhalación.

A los efectos agudos sobre la salud se asignan los siguientes símbolos e indicaciones de peligro:

Al nivel de riesgo 1 se asigna la indicación de peligro «muy tóxico» y el símbolo de peligro:



Al nivel de riesgo 2 se asigna la indicación de peligro «tóxico» y el símbolo de peligro:



Al nivel de riesgo 3 se asigna la indicación de peligro «nocivo» y el símbolo de peligro:



6.1.2 Sistema de transporte según las recomendaciones UN RTDG

El sistema de transporte de la ONU sólo clasifica las mercancías peligrosas que representan riesgos para la salud cuando sus efectos se manifiestan tras una única exposición. Las mercancías peligrosas tóxicas son aquellas sustancias capaces de provocar la muerte, lesiones graves o perjudicar la salud humana por ingestión, inhalación o contacto con la piel. A excepción de los gases, estas mercancías se dividen en tres niveles de riesgo:

- (i) grupo de embalaje I sustancias y preparados que entrañen un riesgo de toxicidad muy alto;
- (ii) grupo de embalaje II sustancias y preparados que entrañen un riesgo de toxicidad alto;
- (iii) grupo de embalaje III sustancias y preparados que entrañen un riesgo de toxicidad bajo.

En lo que se refiere a la toxicidad por inhalación, los vapores, polvo o nieblas (división 6.1) reciben un tratamiento diferente al de los gases (división 2.3).

Toxicidad oral

Actualmente, los criterios de clasificación son los siguientes:

- | | |
|--------------------------------------|------------------------|
| (i) grupo de embalaje I | DL50 < 5 mg/kg; |
| (ii) grupo de embalaje II | 5 < DL50 < 50 mg/kg; |
| (iii) grupo de embalaje III, sólidos | 50 < DL50 < 200 mg/kg; |
| (iv) grupo de embalaje III, líquidos | 50 < DL50 < 500 mg/kg. |

Toxicidad cutánea

Actualmente, los criterios de clasificación son los siguientes:

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------|
| (i) grupo de embalaje I | DL50 < 40 mg/kg; |
| (ii) grupo de embalaje II | 40 < DL50 < 200 mg/kg; |
| (iii) grupo de embalaje III, sólidos | 200 < DL50 < 1000 mg/kg. |

Toxicidad por inhalación: polvo y nieblas

Actualmente, los criterios de clasificación son los siguientes:

- | | |
|--------------------------------------|------------------------------|
| (i) grupo de embalaje I | CL50 < 0,5 mg/litro/1 h; |
| (ii) grupo de embalaje II | 0,5 < CL50 < 2 mg/litro/4 h; |
| (iii) grupo de embalaje III, sólidos | 2 < CL50 < 10 mg/litro/4 h. |

Mientras que los criterios de suministro correspondientes de la UE se basan en los valores para exposiciones de 4 horas, los criterios UN RTDG en lo relativo a la toxicidad por inhalación de polvo y nieblas se basan en los valores de CL50 para exposiciones de 1 hora. En los casos en que sólo se dispone de los valores de CL50 correspondientes a exposiciones de 4 horas, estos valores se multiplican por cuatro y se sustituye el producto en los anteriores criterios, es decir $CL50 (4 \text{ horas}) \times 4$ se considera el equivalente de CL50 (1 hora).

Toxicidad por inhalación: vapores

Los criterios clasificación del sistema UN RTDG tienen en cuenta la volatilidad de los líquidos. Los líquidos que emiten vapores tóxicos se asignan a los siguientes grupos de embalaje, donde V es la concentración del vapor saturado en mililitros por metro cúbico de aire a 20 °C y presión atmosférica normal:

- | | |
|-----------------------------|--|
| (i) grupo de embalaje I | si $V > 10 CL50$ y $CL50 < 1000 \text{ ml/m}^3$; |
| (ii) grupo de embalaje II | si $V > CL50$ y $CL50 < 3000 \text{ ml/m}^3$, y no se dan los criterios del grupo de embalaje I; |
| (iii) grupo de embalaje III | si $V > 1/5 CL50$ y $CL50 < 5000 \text{ ml/m}^3$, y no se dan los criterios de los grupos de embalaje I o II. |

Mientras que los criterios de suministro correspondientes de la UE se basan en los valores en mg/litro para exposiciones de 4 horas, los criterios UN RTDG en lo relativo a la toxicidad por inhalación de los vapores se basan en los valores de CL50 para exposiciones de 1 hora expresados en mililitros por metro cúbico. En los casos en que sólo se dispone de los valores de CL50 correspondientes a exposiciones de 4 horas, estos valores se multiplican por dos y se sustituye el producto en los anteriores criterios, es decir $CL50 (4 \text{ horas}) \times 2$ se considera el equivalente de CL50 (1 hora).

Toxicidad por inhalación: gases

No se hace una división en niveles de riesgo y los criterios abarcan los valores de CL50 iguales o inferiores a 5000 ml/m^3 (ppm).

Comunicación de los riesgos en el caso de sustancias tóxicas según las recomendaciones UN RTDG.

Todos los estados físicos y niveles de riesgo de las mercancías tóxicas tienen la misma etiqueta:



6.2 TOXICIDAD SUBAGUDA, SUBCRÓNICA O CRÓNICA

Nota: estos riesgos no están contemplados en el sistema de transporte según las recomendaciones UN RTDG.

6.2.1 *Efectos irreversibles muy graves tras una sola exposición*

Se contemplan tres vías de exposición:

- (i) oral,
- (ii) cutánea,
- (iii) inhalación,

las cuales se dividen en tres niveles de riesgo:

- (i) muy tóxico,
- (ii) tóxico,
- (iii) nocivo.

El criterio es que haya pruebas claras de que, tras una sola exposición, la sustancia pueda causar daños irreversibles, no cancerígenos, mutágenos ni tóxicos para la reproducción (CMR), a través de la vía de exposición adecuada, normalmente en dosis equivalentes a las de toxicidad aguda.

Es obligatorio incluir las siguientes frases de riesgo:

Para el nivel de riesgo 1 «muy tóxico» y el nivel de riesgo 2 «tóxico»: R39 Peligro de efectos irreversibles muy graves.

Para el nivel de riesgo 3 «nocivo»: R40 (R68 desde 30/07/2002) Posibilidad de efectos irreversibles.

Para indicar la vía de exposición, estas frases de riesgo se emplean combinadas con las frases de riesgo de toxicidad aguda convenientes: R39/26, R39/27, R39/28, R39/26/27, R39/26/28, R39/27/28, R39/26/27/28, R39/23, R39/24, R39/25, R39/23/24, R39/23/25, R39/24/25, R39/23/24/25, R40/20, R40/21, R40/22, R40/20/21, R40/20/22, R40/21/22, R40/20/21/22.

Al nivel de riesgo 1 se asigna la indicación de peligro «muy tóxico», al nivel de riesgo 2 se asigna la indicación de peligro «tóxico», y ambos tienen el siguiente símbolo de peligro:



Al nivel de riesgo 3 se asigna la indicación de peligro «nocivo» y el símbolo de peligro:



6.2.2 *Efectos irreversibles muy graves tras una exposición repetida o prolongada*

Se contemplan tres vías de exposición:

- (i) oral,
- (ii) cutánea,
- (iii) inhalación,

las cuales se dividen en dos niveles de riesgo:

- (i) tóxico,
- (ii) nocivo.

El criterio es que una exposición repetida o prolongada por la vía apropiada pueda causar daños graves (trastornos funcionales o cambios morfológicos evidentes y significativos desde un punto de vista toxicológico).

Se clasifica una sustancia como nociva cuando se observan estos efectos a niveles del orden de:

- vía oral en rata < 50 mg/kg (masa corporal)/día,
- penetración cutánea en rata o conejo < 100 mg/kg (masa corporal)/día,
- inhalación en rata < 0,25 mg/l, 6 h/día.

Estos valores orientativos se aplican directamente cuando se observan lesiones graves en un ensayo de toxicidad subcrónica (90 días). Cuando se utilizan los resultados de un ensayo de toxicidad subaguda (28 días), estos valores se multiplican aproximadamente por tres. Si existe algún ensayo de toxicidad crónica (dos años), se evalúan caso por caso. Si se cuenta con los resultados de estudios de más de un período de duración, entonces se suelen utilizar los del estudio más largo. Se clasifica la sustancia por lo menos como tóxica cuando se observan estos efectos en niveles de un orden de magnitud inferior (por ejemplo, 10 veces) que el considerado nocivo.

Es obligatorio incluir las siguientes frases de riesgo: Para ambos niveles de riesgo, es obligatoria la siguiente frase de riesgo: R48 Riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada.

Para indicar la vía de exposición, estas frases de riesgo se emplean combinadas con las frases de riesgo de toxicidad aguda convenientes: R48/23, R48/24, R48/25, R48/23/24, R48/23/25, R48/24/25, R48/23/24/25, R48/20, R48/21, R48/22, R48/20/21, R48/20/22, R48/21/22, R48/20/21/22.

Al nivel de riesgo más alto se asigna la indicación de peligro «tóxico» y el símbolo de peligro:



Al nivel de riesgo más bajo se asigna la indicación de peligro «nocivo» y el símbolo de peligro:



6.3 MATERIAS CORROSIVAS E IRRITANTES

Nota: el sistema de transporte según las recomendaciones UN RTDG sólo contempla los efectos de la corrosión.

6.3.1 *Sistema de la UE: corrosivo*

Una sustancia se considera corrosiva si, durante un ensayo, al aplicarla sobre la piel sana e intacta de animales, produce la destrucción de tejidos en todo el espesor de la piel en, al menos, un animal de experimentación. Se distinguen dos niveles de riesgo.

El criterio para el nivel de riesgo más alto es que, al aplicarla sobre la piel sana e intacta de animales, se produzca la destrucción de tejidos en todo el espesor de la piel tras una exposición de hasta tres minutos. Es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R35 Provoca quemaduras graves.

El criterio para el nivel de riesgo más bajo es que, al aplicarla sobre la piel sana e intacta de animales, se produzca la destrucción de tejidos en todo el espesor de la piel tras una exposición de hasta cuatro horas.

Es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R34 Provoca quemaduras.

A ambos niveles de riesgo se asigna la indicación de peligro «corrosivo» y el símbolo de peligro:



6.3.2 *Sistema de transporte según las recomendaciones UN RTDG*

Son mercancías peligrosas corrosivas aquellas sustancias que, mediante reacciones químicas, son capaces de causar daños graves al entrar en contacto con tejidos vivos.

Nota: Aunque la definición habla de la destrucción de tejidos vivos, los criterios sólo hacen referencia a la destrucción de la piel. Consulte los riesgos físicos y químicos si desea información sobre la corrosividad en metales.

Se distinguen tres niveles de riesgo.

grupo de embalaje I Se asigna a las sustancias que causan la destrucción de tejidos en todo el espesor de la piel intacta en un período de observación de hasta 60 minutos a partir de un tiempo de exposición de 3 minutos o menos.

grupo de embalaje II Se asigna a las sustancias que causan la destrucción de tejidos en todo el espesor de la piel intacta en un período de observación de hasta 14 días a partir de un tiempo de exposición de más de 3 minutos pero no más de 60.

grupo de embalaje III Se asigna a las sustancias que causan la destrucción de tejidos en todo el espesor de la piel intacta en un período de observación de hasta 14 días a partir de un tiempo de exposición de más de 60 minutos pero no más de 4 horas.

Se asigna la siguiente etiqueta:



6.3.3 *Sistema de la UE: irritante*

Piel

Una mercancía peligrosa se considera irritante si causa una inflamación importante de la piel durante al menos 24 horas tras un período de exposición de 4 horas y que corresponda a los valores determinados en el conejo en el método de ensayo de irritación cutánea, o si causa una inflamación importante de la piel basada en observaciones prácticas en humanos tras un contacto inmediato, prolongado o repetido.

Es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R38 Irrita la piel.

Ojos

Se distinguen dos niveles de riesgo.

- (i) lesiones oculares graves (nivel de riesgo más alto),
- (ii) irritante para los ojos (nivel de riesgo más bajo).

Las mercancías peligrosas se incluyen en esta categoría si, al aplicarlas en un ojo de un animal, causan lesiones oculares importantes en un plazo de 72 horas tras la exposición y que persisten al menos 24 horas, o si causan lesiones oculares importantes basadas en la experiencia práctica en humanos.

Nota: cuando una sustancia o preparado se clasifica como corrosivo y se le asignan las frases de riesgo R34 o R35, el riesgo de lesiones oculares graves se considera implícito y, por lo tanto, no se incluye en la etiqueta la frase R41.

Es obligatorio incluir las siguientes frases de riesgo:

- (i) (nivel de riesgo más alto) R41 Riesgo de lesiones oculares graves;
- (ii) (nivel de riesgo más bajo) R36 Irrita los ojos.

Vías respiratorias

Sólo hay un nivel de riesgo.

Las mercancías peligrosas se clasifican a partir de:

- observaciones prácticas en humanos,
- resultados positivos en ensayos adecuados con animales.

Es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R37 Irrita las vías respiratorias.

A todos estos niveles de riesgo y vías de exposición se asigna la indicación de peligro «irritante» y el símbolo de peligro:



6.4 SENSIBILIZACIÓN

Nota: estos riesgos no están contemplados en el sistema de transporte según las recomendaciones UN RTDG.

Sensibilización por inhalación

Sólo hay un nivel de riesgo.

Las mercancías peligrosas se clasifican como sensibilizantes por inhalación:

- cuando existan pruebas de que pueden originar una hipersensibilidad respiratoria específica;
- cuando existan resultados positivos en ensayos adecuados con animales, o
- si la sustancia es un isocianato, salvo que se demuestre que la sustancia no produce una hipersensibilidad respiratoria.

Las pruebas de que una mercancía peligrosa puede producir una supersensibilidad respiratoria específica suelen basarse en la experiencia en humanos. Dicho esto, la hipersensibilidad suele manifestarse en forma de asma, aunque existen otras reacciones de hipersensibilidad, como son las rinitis y las alveolitis, que también se tienen en cuenta. El trastorno debe tener las características clínicas de una reacción alérgica. Sin embargo, no tienen que demostrarse los mecanismos inmunológicos.

Es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R42 Posibilidad de sensibilización por inhalación.

Se le asigna la indicación de peligro «nocivo» y el símbolo de peligro:



Sensibilización por contacto cutáneo

Sólo hay un nivel de riesgo.

Las mercancías peligrosas se clasifican como sensibilizantes por contacto cutáneo:

- cuando la experiencia práctica demuestra que son capaces de originar una sensibilización por contacto cutáneo en un número importante de personas, o
- cuando existen resultados positivos en ensayos adecuados con animales.

Es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R43 Posibilidad de sensibilización en contacto con la piel.

Se le asigna la indicación de peligro «irritante» y el símbolo de peligro:



6.5 EFECTOS ESPECÍFICOS SOBRE LA SALUD

Nota: estos riesgos no están contemplados en el sistema de transporte según las recomendaciones UN RTDG.

Se conocen habitualmente como efectos CMR (cancerígenos, mutágenos o tóxicos para la reproducción). Cada uno se divide en tres niveles de riesgo. A efectos de clasificación y etiquetado, y teniendo en cuenta los conocimientos actuales, se dividen en tres categorías. Para incluir una sustancia en la categoría 1, se tienen en cuenta datos epidemiológicos. En cambio, para las categorías 2 y 3, se utilizan principalmente experimentos con animales.

Categoría 1 Tienen efectos CMR demostrados en humanos. Existen pruebas suficientes para establecer una relación causal entre la exposición en humanos a una sustancia y la aparición de efectos CMR.

Categoría 2 Se consideran como si tuvieran efectos CMR en los humanos. Existen pruebas suficientes que permiten presuponer que la exposición de un humano causaría la aparición de efectos CMR, generalmente basándose en:
o estudios adecuados a largo plazo con animales,
o otra información pertinente.

Categoría 3 Se sospecha que tienen efectos CMR en los seres humanos pero no se dispone de suficiente información para llegar a una conclusión satisfactoria al respecto. Existen algunas pruebas procedentes de estudios adecuados realizados con animales, pero resultan insuficientes para incluir la sustancia en la categoría 2.

Carcinogénico

Es obligatorio incluir las siguientes frases de riesgo:

- (i) (Categorías 1 y 2) R45 Puede causar cáncer o R49 Puede causar cáncer por inhalación;
- (ii) (Categoría 3) R40 Posibles efectos cancerígenos.

Mutágeno

Es obligatorio incluir las siguientes frases de riesgo:

- (i) (Categorías 1 y 2) R46 Puede causar alteraciones genéticas hereditarias;
- (ii) (Categoría 3) R68

Tóxicos para la reproducción

Los efectos tóxicos contemplados para la reproducción son de dos tipos:

- fertilidad,
- desarrollo.

Es obligatorio incluir las siguientes frases de riesgo:

Fertilidad

- (i) (Categorías 1 y 2) R60 Puede perjudicar la fertilidad;
- (ii) (Categoría 3) R62 Posible riesgo de perjudicar la fertilidad.

Desarrollo

- (i) (Categorías 1 y 2) R61 Riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto;
- (ii) (Categoría 3) R63 Posible riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto.

Las mercancías peligrosas clasificadas como tóxicas para la reproducción y que también se sospecha que tienen efectos en la lactancia se marcan, además, con la frase R64.

A cada efecto CMR de la categoría 1 y 2 se asigna el siguiente símbolo de peligro:



A cada efecto CMR de la categoría 3 se asigna el siguiente símbolo de peligro:



6.6 OTROS EFECTOS SOBRE LA SALUD

6.6.1 *Sistema de la UE*

El sistema de la UE utiliza frases de riesgo adicionales que son aplicables a mercancías peligrosas que ya están clasificadas. Estas frases de riesgo no constituyen una clasificación. Son las siguientes:

R29 En contacto con agua libera gases tóxicos.

Para mercancías peligrosas que, en contacto con el agua o aire húmedo, desprenden gases muy tóxicos o tóxicos en cantidades potencialmente peligrosas.

R31 En contacto con ácidos libera gases tóxicos.

Para mercancías peligrosas que, al reaccionar con ácidos, desprenden gases tóxicos en cantidades peligrosas.

R32 En contacto con ácidos libera gases muy tóxicos.

Para mercancías peligrosas que, al reaccionar con ácidos, desprenden gases muy tóxicos en cantidades peligrosas.

R33 Peligro de efectos acumulativos.

Para mercancías peligrosas cuando es probable que se acumule en el cuerpo humano y se sospeche que dicha acumulación puede ser perjudicial.

R64 Puede perjudicar a los niños alimentados con leche materna.

Para mercancías peligrosas que son absorbidas por las mujeres y que pueden interferir con la lactancia o que pueden estar presentes (incluidos sus metabolitos) en la leche materna en cantidades suficientes como para temer por la salud de un niño alimentado con leche materna.

R66 La exposición repetida puede provocar sequedad o formación de grietas en la piel.

Para mercancías peligrosas que puedan causar preocupación porque resecan, descaman o agrietan la piel, pero que no cumplen los criterios de R38 de acuerdo con:

- la observación práctica tras una manipulación y uso normales, o
- indicios relevantes en cuanto a sus efectos cutáneos previstos.

R67 La inhalación de vapores puede provocar somnolencia y vértigo.

Para mercancías peligrosas volátiles que contengan sustancias que causan síntomas claros de depresión del sistema nervioso central por inhalación y que no estén ya clasificadas en las categorías de toxicidad aguda por inhalación (R20, R23, R26, R68/20, R39/23 o R39/26).

6.6.2 *Sistema de transporte según las recomendaciones UN RTDG*

El sistema UN RTDG clasifica los peligros que no están contemplados en las dos principales directivas de la UE.

División 6.2 Sustancias infecciosas

Son sustancias infecciosas aquellas que se sabe o se sospecha razonablemente que contienen patógenos. Los patógenos se definen como microorganismos (incluidas bacterias, virus, rickettsias, parásitos y hongos) o microorganismos recombinantes (híbridos o mutantes) que se sabe o se sospecha razonablemente que pueden causar enfermedades tanto en el hombre como en los animales.

Se clasifican en función de su inclusión en uno de tres grupos de riesgo posibles según los criterios elaborados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y publicados en su Manual de bioseguridad de laboratorio, segunda edición (1993).

Clase 7 - Materias radiactivas

Por materias radiactivas se entiende cualquier materia que contenga radionucleidos cuyas actividades másicas y total sobrepasen los valores indicados en los apartados 401-406 del Reglamento de transporte de materias radiactivas de la AIEA, edición de 1996, colección Normas de seguridad N° ST-1.

7 Riesgos ambientales

7.1 SISTEMA DE LA UE

Toxicidad para el medio acuático

La clasificación de estas sustancias se realiza normalmente a partir de datos experimentales sobre la toxicidad aguda para el medio acuático, su degradación y el log Pow (o el FBC, si existe). La clasificación de los preparados se realiza normalmente mediante un método de cálculo basado en los límites de concentración específicos de cada componente.

La clasificación distingue tres niveles de riesgo:

(a) muy tóxico,

(i) los criterios de toxicidad aguda para el medio acuático son:

- toxicidad aguda CL50 96 h (para peces) < 1 mg/l;
- toxicidad aguda CE50 48 h (Daphnia) < 1 mg/l; o
- toxicidad aguda CI50 (para algas) < 1 mg/l.

Es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R50 Muy tóxico para los organismos acuáticos.

(ii) toxicidad aguda crónica para el medio acuático,

- toxicidad aguda CL50 96 h (para peces) < 1 mg/l;
- toxicidad aguda CE50 48 h (Daphnia) < 1 mg/l; o
- toxicidad aguda CI50 (para algas) < 1 mg/l;

y:

- la sustancia no es fácilmente degradable, o
- el log Pow (logaritmo del coeficiente de reparto octanol/agua) > 3,0 (a menos que el FBC determinado experimentalmente sea < 100).

Es obligatorio incluir las siguientes frases de riesgo: R50 Muy tóxico para los organismos acuáticos y R53 Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

Se les asigna el siguiente símbolo de peligro, junto con la indicación «peligroso para el medio ambiente».



(b) tóxico - toxicidad aguda crónica para el medio acuático,

- toxicidad aguda CL50 96 h (para peces) 1 mg/l < CL50 < 10 mg/l;
- toxicidad aguda CE50 48 h (Daphnia) 1 mg/l < CE50 < 10 mg/l; o
- toxicidad aguda CI50 (para algas) 1 mg/l < CI50 < 10 mg/l;

y:

- la sustancia no es fácilmente degradable, o
- el log Pow (logaritmo del coeficiente de reparto octanol/agua) > 3,0 (a menos que el FBC determinado experimentalmente sea < 100).

Es obligatorio incluir las siguientes frases de riesgo: R51 Tóxico para los organismos acuáticos y R53 Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

Se les asigna el siguiente símbolo de peligro, junto con la indicación «peligroso para el medio ambiente».



(c) nocivo,

(i) el criterio de toxicidad aguda para el medio acuático es:

Sustancias que no cumplan los criterios indicados en este capítulo pero que, sin embargo, pueden presentar un peligro para la estructura o el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, según las pruebas de que se disponga sobre su toxicidad.

Es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R52 Nocivo para los organismos acuáticos.

(ii) toxicidad aguda crónica para el medio acuático,

- toxicidad aguda CL50 96 h (para peces) 10 mg/l < CL50 < 100 mg/l;
- toxicidad aguda CE50 48 h (Daphnia) 10 mg/l < CE50 < 100 mg/l; o
- toxicidad aguda CI50 72 h (para algas) 10 mg/l < CI50 < 100 mg/l;

y

- la sustancia no es fácilmente degradable.

Este criterio se aplicará si no hay pruebas científicas adicionales de degradación y/o toxicidad suficientes para garantizar adecuadamente que ni la sustancia ni el producto de su degradación constituirán un peligro retardado o a largo plazo para el medio ambiente acuático.

Es obligatorio incluir las siguientes frases de riesgo: R52 Nocivo para los organismos acuáticos y R53 Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

(iii) toxicidad crónica para el medio acuático,

Sustancias que no cumplan los criterios indicados en este capítulo pero que puedan representar un peligro, retardado o a largo plazo, para la estructura o funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, según las pruebas de que se disponga sobre su persistencia, potencial de acumulación y sobre su destino y comportamiento, previstos u observados, en el medio ambiente.

Es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R53 Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

Toxicidad para el medio no acuático

Sustancias que, según las pruebas sobre su toxicidad, persistencia, potencial de acumulación y su destino y comportamiento en el medio ambiente, previstos u observados, puedan suponer un peligro, inmediato, retardado o a largo plazo para la estructura o funcionamiento de los ecosistemas naturales. Se elaborarán posteriormente criterios detallados.

Es obligatorio incluir una o más de las siguientes frases de riesgo, según corresponda:

- R54 Tóxico para la flora.
- R55 Tóxico para la fauna.
- R56 Tóxico para los organismos del suelo.
- R57 Tóxico para las abejas.
- R58 Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente.

De manera similar, en cuanto al peligro para la atmósfera, las mercancías peligrosas se clasifican en función de si las pruebas sobre sus propiedades y su destino y comportamiento en el medio ambiente, previstos u observados, demuestran que pueden suponer un peligro para la estructura y/o funcionamiento de la capa de ozono estratosférico. Aquí se incluyen las sustancias citadas en el anexo I del Reglamento (CEE) n° 2037/2000 del Consejo, relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono (DO n° L 244 de 29.9.2000, p. 1).

También es obligatorio incluir la siguiente frase de riesgo: R59 Peligroso para la capa de ozono.

Se les asigna el siguiente símbolo de peligro, junto con la indicación «peligroso para el medio ambiente».



7.2 SISTEMA DE TRANSPORTE SEGÚN LAS RECOMENDACIONES UN RTDG

Actualmente el sistema UN RTDG no contempla ningún criterio para las mercancías peligrosas para el medio ambiente, aunque se deja un espacio para ellas en la clase 9. En Europa, los reglamentos sobre transporte por carretera y ferrocarril clasifican los riesgos ambientales a partir de los niveles de riesgo del sistema de la UE para sustancias tóxicas y muy tóxicas. Esta clasificación contempla las sustancias y mezclas que no están incluidas en ninguna clasificación para el transporte de sustancias peligrosas. Para comunicar este tipo de riesgos se utiliza la etiqueta de la clase 9 de las recomendaciones UN RTDG.

Para el transporte marítimo, el código marítimo internacional de mercancías peligrosas (IMDG) clasifica las sustancias como «muy contaminantes para el medio marino» o «contaminantes para el medio marino», pero las mezclas sólo se pueden clasificar como «contaminantes para el medio marino» si contienen un 1 % o de sustancias muy contaminantes para el medio marino o un 10 % o más de sustancias contaminantes para el medio marino. El código IMDG se aplica independientemente de que las sustancias o mezclas ya estén clasificadas para el transporte. No es esencialmente un sistema de autoclasificación de las sustancias, puesto que el IMO cuenta con un grupo de científicos expertos, el GESAMP, que se encarga de establecer los criterios y clasificaciones generales de las sustancias. Se utiliza la siguiente etiqueta (Nota: en la jerga del IMDG se habla de *marca* en lugar de *etiqueta*).



8.4. Clases de dispersión de los graneles sólidos

	Producto (especificación)	Clase de dispersión
Alúmina		S1
Barita		S3
Barita (molida)		S1
Bauxita	Calcinada	S1
	Porcelana calcinada	S1
	Bauxita bruta	S5
Grava de piedra pómez		S4
Escoria de alto horno		S4
Bórax		S3
Carburo de calcio		S1
Carburo de silicio		S5
Cemento		S1
	Ladrillos de clínker	S4
Arcilla	Bentonita, triturada	S3
	Bentonita, molida	S1
	Chamota, triturada	S4
	Chamota, molida	S1
	Caolín (porcelana), triturada	S3
	Caolín (porcelana), molida	S1
Carbón	Antracita	S2
	Lignito, briquetas	S4
	Carbón	S4
	Carbón	S2
	Carbón en polvo	S1
Coques	Coques de carbón	S4
	Coques fluidos	S1
	Coque de petróleo, calcinado	S1
	Coque de petróleo, grueso	S4
	Coque de petróleo, fino	S2
Derivados y productos afines	Gránulos de alfalfa	S3
	Harina de almendra	S3
	Gránulos de pulpa de manzana	S3
	Gránulos de babasú	S3
	Harina de cebada	S1
	Gránulos de cebada	S3
	Harina de huesos	S1
	Gránulos de bagazo de cerveza	S3
	Harina de alforfón	S1
	Gránulos de mandioca, duros	S3
Raíz de mandioca	S3	

	Producto (especificación)	Clase de dispersión
Derivados y productos afines	Gránulos de pienso	S3
	Gránulos de cítricos	S3
	Cacao en grano	S3 ³⁾
	Gránulos de pulpa de café	S3
	Gránulos de pienso compuesto	S3
	Copra	S5
	Tortas de copra	S3
	Virutas de copra	S3
	Gránulos de copra	S3
	Harina de granos de destilería de maíz	S3
	Gránulos de granos de destilería de maíz	S3
	Gránulos de planta de maíz	S3
	Gránulos de mazorca de maíz	S3
	Gránulos de semilla de algodón	S3
	Gránulos de DFG (gránulos de brotes de maíz)	S3
	Extracto de babasú	S3
	Extracto de huesos	S3
	Extracto de copra	S3
	Extracto de semilla de algodón	S3
	Extracto de cacahuete	S3
	Extracto de miraguano	S3
	Extracto de semillas de kardi	S3
	Extracto de linaza	S3
	Extracto de macoya	S3
	Extracto de mango	S1
	Extracto de aceituna	S3
	Extracto de hueso de palma	S3
	Extracto de colza	S3
	Extracto de cártamo	S3
	Extracto de semillas de sal (<i>Shorea robusta</i>)	S1
	Extracto de sésamo	S3
	Extracto de sorgo	S3
	Extracto de harina de soja	S3
	Extracto de pipa de girasol	S3
	Extracto de tucuma	S3
	Gránulos de cacahuete	S3
	Cacahuetes	S5
	Gránulos de hominecychop	S3
	Gránulos de miraguano	S3
	Gránulos de harina de hojas	S3
Gránulos de linaza	S3	
Gránulos de alfalfa	S3	

	Producto (especificación)	Clase de dispersión
Derivados y productos afines	Gránulos de macoya	S3
	Harina de macuno	S3
	Harina de maíz	S3
	Harina de gluten de maíz	S3
	Gránulos de gluten de maíz	S3
	Gránulos de cebada germinada	S3
	Gránulos de mango	S3
	Gránulos de salvado	S3
	Harina de sorgo	S3
	Gránulos de gluten de sorgo	S3
	Gránulos de avena	S3
	Harina de avena	S1
	Gránulos de pulpa de aceituna	S3
	Tortas de hueso de palma	S3
	Gránulos de hueso de palma	S3
	Huesos de palma	S5
	Gránulos de cáscara de cacahuete	S3
	Gránulos de piña	S3
	Gránulos de moyuelo	S3
	Harina de patata	S1
	Patata en rodajas	S3
	Harina de judía guar	S3
	Gránulos de harina de judía guar	S3
	Gránulos de colza	S3
	Salvado de arroz	S1
	Gránulos de cáscara de arroz	S3
	Gránulos de salvado de arroz	S3
	Harina de centeno	S1
	Gránulos de centeno	S3
	Gránulos de cártamo	S3
	Gránulos de extracto de semillas de sal (Shorea robusta)	S3
	Gránulos de sésamo	S3
	Gránulos de soiulac	S3
	Gránulos de sorgo	S3
	Virutas de soja	S3
	Harina de soja	S3
	Gránulos de soja	S3
	Gránulos de quebraduras	S3
	Gránulos de pulpa de remolacha azucarera	S3

	Producto (especificación)	Clase de dispersión
Derivados y productos afines	Gránulos de caña de azúcar	S3
	Gránulos de pipa de girasol	S3
	Gránulos de batata	S3
	Virutas de tapioca	S1
	Dados de tapioca	S1
	Gránulos de tapioca, duros	S3
	Gránulos de tapioca, natural	S1
	Gránulos de té	S3
	Harina de trigo	S1
	Gránulos de trigo	S3
	Harina de hominecychop	S3
Dolomita	Triturada	S5
	Molida	S1
Feldespatos		S5
Ferrocromo, triturado		S5
Ferromanganeso, triturado		S5
Ferrofósforo, triturado		S5
Ferrosilicio, triturado		S3
Abono	Nitrosulfato de amonio	S3
	Fosfato diamónico	S1
	Superfosfato doble, gránulos	S3
	Superfosfato doble, polvo	S1
	Nitrato de amonio cálcico	S3
	Sulfato de amonio	S3
	Superfosfato triple, polvo	S1
Fluoruro de calcio		S5
Cenizas volantes		S2
Residuos de vidrio		S5
	Producto (especificación)	Clase de dispersión
Grano	Cebada	S3
	Alforfón	S3
	Grañones	S3
	Grano de kafi	S3
	Cribados de linaza	S3
	Maíz	S3
	Malta	S3
	Milicorn	S3
	Cribados de avena	S3
	Avenas	S5
	Cribados de colza	S3
	Arroz	S5

	Producto (especificación)	Clase de dispersión
Grano	Salvado de arroz	S3
	Centeno	S3
	Sorgo	S3
	Sémola de soja	S3
	Trigo	S3
Grava		S5
Yeso	Yeso	S4
	Yeso calcinado (escayola)	S1
Barita		S5
Residuos domésticos		
Mineral de hierro	Beeshoek, finos	S5 ¹⁾
	Beeshoek, trozos	S5 ¹⁾
	Bomi Hill, trozos	S4
	Bong Range, concentrado	S4 ²⁾
	Bong Range, gránulos	S5 ¹⁾
	Broz. Nat., mineral	S4
	Carol Lake, concentrado	S4 ²⁾
	Carol Lake, gránulos	S5 ¹⁾
	Cassinga, gránulos	S5
	Cassinga, finos	S4
	Cassinga, trozos	S5 ¹⁾
	Cerro Bolivar, mineral	S4
	Coto Wagner, mineral	S5 ²⁾
	Dannemora, mineral	S4
	El Poo, finos	S4
	Fabrica, gránulos	S5 ¹⁾
	Fabrica, materia prima para sinterización	S5
	Fabrica Special, mineral granulado	S5
	F'Derik Ho	S4
	Fire Lake, gránulos	S5 ¹⁾
	Grbngesberg, mineral	S4
	Homersley Pebble	S5 ¹⁾
	Itabira, bruto	S5 ¹⁾
	Itabiro Special, materia prima para la sinterización	SS
Kiruna B, finos	S5	
Kiruna, gránulos	S5 ¹⁾	
Mineral de ilmenita	S5	
Malmberg, gránulos	S5	
Mineral de hierro	Manoriver Ho	S4
	Menera, finos	S5

	Producto (especificación)	Clase de dispersión
Mineral de hierro	Migrolite	S4
	Mount Newman, gránulos	S4
	Mount Wright, concentrado	S4 ²⁾
	Nimba, mineral	S4
	Nimba, finos	S5
	Mineral de pirita	S4
	Robe River, finos	S5 ¹⁾
	Samarco, gránulos	S5 ¹⁾
	Sishen, finos	S5 ¹⁾
	Sishen, trozos	S5 ¹⁾
	Svappavaaro, mineral	S4
	Svoppavaara, gránulos	S4
	Sydvaranger, gránulos	S5 ¹⁾
	Tazadit, finos	S5 ¹⁾
Cianita		S4
Cal	Triturada	S5
	Molida	S1
Cloruro cálcico		S5
Nefelina		S3
Olivina		S4
Mineral	Cromo	S4
	Cobre	S4
	Esmeril, triturado	S5
	Hierro (ver mineral de hierro)	
	Plomo	S2
	Manganeso	S5 ¹⁾
	Tantalita	S4
	Titanio (ver titanio)	
Blenda de cinc	S4	
Fosfato	Contenido seco > 4 % en peso	S4
Fosfato	Contenido seco < 1 % en peso	S1
Arrabio		S4
Productos poliméricos	Plástico en polvo	S1
Potasa		S3
Legumbres	Alubia	S3
	Albumen de guar	S3
	Haba caballar	S3
	Lenteja	S3
	Altramuz	S3
	Guisante	S3
	Salvado de soja	S3

	Producto (especificación)	Clase de dispersión
Legumbres	Soja	S3
	Cribados de soja	S3
	Arveja	S3
Piedra pómez		S5
Pirita de hierro tostada		S2
Ceniza de pirita		S2
Pirolusita		S2
Cal viva		S1
Sal para carreteras		S5
	Producto (especificación)	Clase de dispersión
Arena	Arena gruesa	S4
	Arena fina	S3
	Arena de olivina	S4
	Arena de rutilo (ver titanio)	
	Arena argentífera	S3
	Arena de circón	S3
Escoria		S4
Chatarra		S4
Semillas y productos afines	Alpiste	S5
	Sorgo dari	S3
	Kardi	S3
	Linaza	S5
	Millite	S5
	Mostaza, semilla	S5
	Colza	S3
	Paricum	S3
	Adormidera	S5
	Colza	S5
	Cártamo	S5
	Sésamo	S5
	Sorgo	S5
	Pipa de girasol	S5
Tamorin	S3	
Silimanita		S5
Magnesita sinterizada		S3
Sosa		S3
Hollín		S1
Azúcar		S5
Azufre	Grueso	S4
	Fino	S1

	Producto (especificación)	Clase de dispersión
Talco	Triturado	S3
	Molido	S1
Tapioca (ver derivados)		
Titanio	Ilmenita	S5
	Rutilo	S3
	Arena de rutilo	S3
	Escoria de rutilo	S5
Urea		S3
Escoria de vanadio		S4
Vermiculita	Triturada	S3
	Molida	S1
Wollastonita		S5

- 1) Aplicable al almacenamiento, carga y descarga S4.
- 2) Aplicable al almacenamiento, carga y descarga S5.
- 3) Clasificación temporal.

8.6. Resumen de los requisitos de los Estados miembros en cuanto a los métodos y equipos de almacenamiento subterráneo de líquidos

Tabla 8.2: Resumen de los requisitos de los Países miembros relativos a los tanques subterráneos[132, Arthur D. Little Limited, 2001]

País	Contención doble o simple	Uso de materiales resistentes a la corrosión	Sistemas de detección de fugas	Especificaciones para tuberías y separadores de hidrocarburos
Austria	S	S	S	S
Bélgica, Bruselas	S	S	S	S
Bélgica, Flandes	S	S	S	S
Bélgica, Valonia	S	S	S	S
Dinamarca	R	S	S	S
Finlandia	R	S	R	S
Francia	S	S	S	S
Alemania	S	S	S	S
Grecia	N	R	R	N
Irlanda	S	S	G	G
Italia	S	S	S	N
Luxemburgo	S	S	S	S
Países Bajos	S	S	S	S
Portugal	S	S	R	R
España	S	S	S	S
Suecia	R	S	R	N
Reino Unido	G	G	G	G

Clave:
S: requisito primario o legal según la legislación nacional para todos los sistemas.
R: la legislación nacional lo establece como requisito en situaciones específicas o lo recomienda siempre que sea factible.
G: buena práctica citada por las autoridades competentes.
N: no se disponía de información en el momento de elaborar el estudio.

Nota:

Tal como se indica en la tabla, todos los Países miembros disponen ya de algún tipo de requisitos oficiales para los sistemas subterráneos, ya sea publicados como parte de su legislación soberana (por ejemplo, Italia y Portugal) o como directrices sobre buenas prácticas (por ejemplo, el Reino Unido y la República de Irlanda). Estos requisitos presentan pocas lagunas cuando se evalúan las cuatro áreas clave de su construcción y uso que se mencionan en la tabla, lo cual indica la preocupación que existe a escala nacional por los problemas asociados a los sistemas de almacenamiento subterráneo de gasolina y la contaminación de las aguas subterráneas.

8.7. Métodos de almacenamiento y graneles sólidos relevantes

Tabla 8.3: Métodos de almacenamiento y graneles relevantes [17, UBA, 2001]

	Grano	Hulla	Lignito	Coque de hulla	Minerales de hierro y concentrados	Mineral de cobre y concentrados	Otros minerales no féreos y concentrados	Yeso calcinado	Yeso	Abonos
Almacenamiento al aire libre	X	X	X	X	X	X	X		X	X
Pila en hangar/ cubierta	X	X	X	X	X	X	X		X	X
Depósito			X						X	X
Silo	X	X	X					X	X	X
Sacos, bolsas								X	X	X

8.8. Técnicas de manipulación y graneles sólidos relevantes

Tabla 8.4: Técnicas de carga y descarga y graneles relevantes

	Grano	Hulla	Lignito	Coque de hulla	Minerales de hierro y concentrados	Mineral de cobre y concentrados	Otros minerales no féreos y concentrados	Yeso calcinado	Yeso	Abonos
Cuchara	X	X		X		X	X		X	X
Tolva	X	X		X		X	X		X	X
Tubo							X		X	X
Dispositivo de carga móvil	X	X	X	X	X	X	X		X	X
Silo (camión o tren)	X	X	X					X	X	X
Volquete (camión o tren)	X	X	X	X	X				X	X
Pozo de descarga	X	X		X	X				X	X
Canal de gravedad	X	X	X	X	X	X	X		X	X
Rampa en cascada	X	X					X		X	X
Cinta transportadora	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cintas transportadoras dobles	X							X	X	X
Transportador de rasquetas	X	X	X		X			X	X	X
Transportador de cadena en cubeta	X		X						X	X
Transportador de cadena (como descargador)	X								X	X
Tornillo sin fin	X	X						X	X	X
Transportador de cangilones	X	X			X			X	X	X
Elevador de cangilones (descargador de buques)		X			X				X	
Transportador neumático	X	X	X					X	X	X

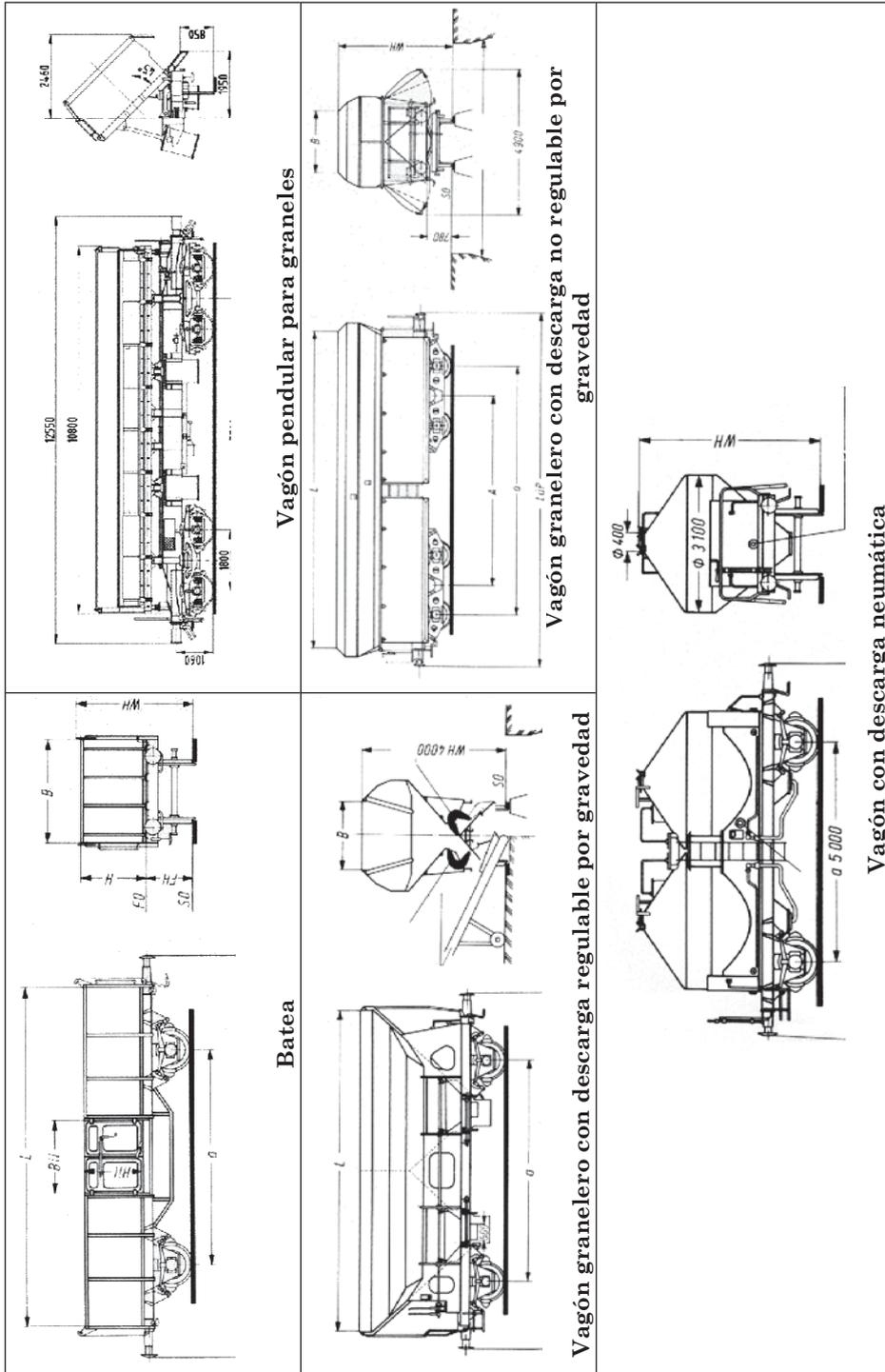


Figura 8.1: Vagones empleados en Alemania para el transporte de graneles sólidos [17, UBA, 2001] con referencia a Railway Wagons, 1994

8.9. Fichas operativas de MCE para el almacenamiento de líquidos y gas licuado

Tabla 8.5: Fichas de MCE para emisiones operativas. Tanques de techo abierto para almacenamiento de superficie

Almacenamiento atmosférico de superficie: Tanque de techo abierto				
Emisiones operativas				
Nota 1:	Frecuencia de las emisiones 1 - 3: 3 = frecuentes (diarias), 1 = esporádicas (una vez cada varios años)			
Nota 2:	Volumen de emisión 0 - 3: 3 = el más alto, 0 = cero o despreciable			
	Estas puntuaciones son valores relativos al método de almacenamiento en cuestión.			
Fuente potencial de emisiones	Frecuencia de las emisiones Nota 1	Volumen de emisión Nota 2	Puntuación de las emisiones	POSIBLES MCE
Emisiones de gases				
Llenado	2	3	6	Cubiertas flotantes
				Cubiertas flexibles o toldos
				Cubiertas rígidas/fijas
				Tratamiento de gases (cuando hay cubierta)
En reposo	3	3	9	Color de la pintura
				Cubiertas flotantes
				Cubiertas flexibles o toldos
				Cubiertas rígidas/fijas
				Cubiertas solares/pantallas térmicas
				Tratamiento de gases (cuando hay cubierta)
Vaciado	2	1	2	Cubiertas flotantes
				Cubiertas flexibles o toldos
				Cubiertas rígidas/fijas
				Tratamiento de gases (cuando hay cubierta)
Limpieza	1	2	2	Formación y procedimientos operativos
				Sistema cerrado de limpieza
				Sistema fijo cerrado de drenaje
Emisiones de líquidos				
Drenaje	2	1	2	Formación y procedimientos operativos
				Sistema fijo cerrado de drenaje
Limpieza	1	3	3	Formación y procedimientos operativos
Muestreo	2	0	0	Formación y procedimientos operativos
				Sistema estanco de muestreo
				Contención

Tabla 8.6: Fichas de MCE para emisiones operativas. Almacenamiento atmosférico de superficie: Tanque de techo flotante externo

Almacenamiento atmosférico de superficie: Techo flotante externo				
Emisiones operativas				
Nota 1:	Frecuencia de las emisiones 1 - 3: 3 = frecuentes (diarias), 1 = esporádicas (una vez cada varios años)			
Nota 2:	Volumen de emisión 0 - 3: 3 = el más alto, 0 = cero o despreciable			
	Estas puntuaciones son valores relativos al método de almacenamiento en cuestión.			
Fuente potencial de emisiones	Frecuencia de las emisiones Nota 1	Volumen de emisión Nota 2	Puntuación de las emisiones	POSIBLES MCE
Emisiones de gases				
Llenado	1	3	3	Formación y procedimientos operativos
(hasta que el techo flote sobre el líquido)				Instrumentación
En reposo	3	1	3	Color de la pintura del cuerpo/techo
				Techo abovedado
				Techo de pontón
				- con elemento primario de estanquidad para vapores
				- con elemento primario de estanquidad para líquidos
				- con zapata mecánica de cierre
				- con elemento secundario de estanquidad
				Techo de doble plataforma
				- con elemento primario de estanquidad para vapores
				- con elemento primario de estanquidad para líquidos
				- con zapata mecánica de cierre
				- con elemento secundario de estanquidad
				Infiltraciones en la estanquidad del techo
				- guía
				- patas del techo
				- cubierta del pozo fijo
Vaciado	2	1	2	Revestimiento interior del cuerpo
(queda una película de producto en el cuerpo del tanque)				Rasquetas (p. ej. para crudos)
Vaciado	1	1	1	Formación y procedimientos operativos

Fuente potencial de emisiones	Frecuencia de las emisiones Nota 1	Volumen de emisión Nota 2	Puntuación de las emisiones	POSIBLES MCE
(después de que el techo se apoye en las patas)				Instrumentación
				Elemento secundario de estanquidad
Limpieza	1	2	2	Formación y procedimientos operativos
				Sistema cerrado de limpieza
Inertización				No procede
Sondeo manual	2	1	2	Sistema de sondeo semicerrado (sella las aberturas de los pozo fijos)
				Instrumentación
Muestreo	2	1	2	Sistema de muestreo semicerrado
				Muestreo del lateral de la estructura
Fugitivas	3	1	3	Inspección/mantenimiento (incluida estanquidad techo-cuerpo)
Drenaje	2	1	2	Salida de agua semiautomática
Emisiones de líquidos				
Drenaje	2	1	2	Formación y procedimientos operativos
				Válvula automática de drenaje
				Sistema fijo cerrado de drenaje
Drenaje del techo	2	0	0	Formación y procedimientos operativos
				Sistema fijo cerrado de drenaje
Limpieza	1	3	3	Formación y procedimientos operativos
Muestreo	2	0	0	Formación y procedimientos operativos
				Sistema de muestreo cerrado
				Contención

Tabla 8.7: Fichas de MCE para emisiones operativas. Almacenamiento atmosférico de superficie: Tanque de techo fijo

Almacenamiento atmosférico de superficie: Tanque de techo fijo.				
Emisiones operativas				
Nota 1:	Frecuencia de las emisiones 1 - 3: 3 = frecuentes (diarias), 1 = esporádicas (una vez cada varios años)			
Nota 2:	Volumen de emisión 0 - 3: 3 = el más alto, 0 = cero o despreciable			
	Estas puntuaciones son valores relativos al método de almacenamiento en cuestión.			
Fuente potencial de emisiones	Frecuencia de las emisiones Nota 1	Volumen de emisión Nota 2	Puntuación de las emisiones	POSIBLES MCE
Emisiones de gases				
Llenado	2	3	6	Válvula de seguridad de presión/vacío (VSPV)
				Techo flotante de desplazamiento interno/techo flotante interno (TFI)
				- con elemento primario de estanquidad
				- con elemento secundario de estanquidad
				Recogida del vapor
				- compensación
				- tratamiento
Respiración	3	2	6	VSPV:
				Color de la pintura
				Cubiertas solares/pantallas térmicas
				Techo flotante de desplazamiento interno/TFI
				- con elemento primario de estanquidad
				- con elemento secundario de estanquidad
				Recogida del vapor
				- depósito para vapores
				- tratamiento
Vaciado	2	1	2	VSPV:
				Techo flotante de desplazamiento interno/TFI
				- con elemento primario de estanquidad
				- con elemento secundario de estanquidad
				Recogida del vapor

Fuente potencial de emisiones	Frecuencia de las emisiones Nota 1	Volumen de emisión Nota 2	Puntuación de las emisiones	POSIBLES MCE
				- compensación
				- tratamiento
Limpieza	1	2	2	Formación y procedimientos operativos
				Sistema cerrado de limpieza
Inertización	3	2	6	VSPV:
				Recogida del vapor
				- tratamiento
Sondeo manual	2	1	2	Sistema mecánico de sondeo
				Instrumentación
Muestreo	2	1	2	Sistema de muestreo semicerrado
				(NB: sólo con VSPV regulada para altas presiones)
				Muestreo del lateral de la estructura
Fugitivas	3	1	3	Inspección/mantenimiento
Drenaje	2	1	2	Salida de agua semiautomática
				Sistema fijo cerrado de drenaje
Emisiones de líquidos				
Drenaje	2	1	2	Formación y procedimientos operativos
				Sistema fijo cerrado de drenaje
Limpieza	1	3	3	Formación y procedimientos operativos
Muestreo	2	0	0	Formación y procedimientos operativos
				Sistema estanco de muestreo
				Contención

Tabla 8.8: Fichas de MCE para emisiones operativas. Almacenamiento atmosférico de superficie: Tanque horizontal

Almacenamiento atmosférico de superficie: Tanque horizontal				
Emisiones operativas				
Nota 1:	Frecuencia de las emisiones 1 - 3: 3 = frecuentes (diarias), 1 = esporádicas (una vez cada varios años)			
Nota 2:	Volumen de emisión 0 - 3: 3 = el más alto, 0 = cero o despreciable			
	Estas puntuaciones son valores relativos al método de almacenamiento en cuestión.			
Fuente potencial de emisiones	Frecuencia de las emisiones Nota 1	Volumen de emisión Nota 2	Puntuación de las emisiones	POSIBLES MCE
Emisiones de gases				
Llenado	2	3	6	Válvula de seguridad de presión/vacío (VSPV)
				Recogida del vapor
				- compensación
				- tratamiento
Respiración	3	2	6	VSPV:
				Color de la pintura
				Cubiertas solares/pantallas térmicas
				Recogida del vapor
				- depósito para vapores
				- tratamiento
Vaciado	2	1	2	VSPV:
				Recogida del vapor
				- compensación
				- tratamiento
Limpieza	1	2	2	Formación y procedimientos operativos
				Sistema cerrado de limpieza
Inertización	3	2	6	VSPV:
				Recogida del vapor
				- tratamiento
Sondeo manual	2	1	2	Sistema mecánico de sondeo
				Instrumentación
Muestreo	2	1	2	Sistema de muestreo semicerrado
				(NB: sólo con VSPV regulada para altas presiones)

Fuente potencial de emisiones	Frecuencia de las emisiones Nota 1	Volumen de emisión Nota 2	Puntuación de las emisiones	POSIBLES MCE
				Muestreo del lateral de la estructura
Fugitivas	3	1	3	Inspección/mantenimiento
Drenaje	2	1	2	Formación y procedimientos operativos
				Sistema fijo cerrado de drenaje
Emisiones de líquidos				
Drenaje	2	1	2	Formación y procedimientos operativos
				Sistema fijo cerrado de drenaje
Limpieza	1	2	2	Formación y procedimientos operativos
Muestreo	2	0	0	Formación y procedimientos operativos
				Sistema estanco de muestreo
				Contención

Tabla 8.9: Fichas de MCE para emisiones operativas. Almacenamiento de superficie a presión: Esferas

Almacenamiento de superficie a presión: Esferas				
Emisiones operativas				
Nota 1:	Frecuencia de las emisiones 1 - 3: 3 = frecuentes (diarias), 1 = esporádicas (una vez cada varios años)			
Nota 2:	Volumen de emisión 0 - 3: 3 = el más alto, 0 = cero o despreciable			
	Estas puntuaciones son valores relativos al método de almacenamiento en cuestión.			
Fuente potencial de emisiones	Frecuencia de las emisiones Nota 1	Volumen de emisión Nota 2	Puntuación de las emisiones	POSIBLES MCE
Emisiones de gases				
Llenado	2	1	2	Control de la velocidad de llenado (venteo de los no condensables)
Respiración				No procede
Vaciado				No procede
Limpieza	1	2	2	Formación y procedimientos operativos
				Sistema cerrado de limpieza
Inertización	2	1	2	Recogida del vapor
				- tratamiento
Sondeo				No procede
Muestreo	2	1	2	Recogida del vapor
				- tratamiento
Fugitivas	3	1	3	Inspección/mantenimiento
Drenaje	2	2	4	Sistema fijo cerrado de drenaje (conectado al sistema de tratamiento del vapor)
Emisiones de líquidos				
Drenaje	2	0	0	
Limpieza	1	1	1	Procedimientos operativos/ procedimientos de limpieza mediante sistema cerrado
Muestreo	2	0	0	

Tabla 8.10: Fichas de MCE para emisiones operativas. Almacenamiento de superficie a presión: Tanque horizontal

Almacenamiento de superficie a presión: Tanque horizontal				
Emisiones operativas				
Nota 1:	Frecuencia de las emisiones 1 - 3: 3 = frecuentes (diarias), 1 = esporádicas (una vez cada varios años)			
Nota 2:	Volumen de emisión 0 - 3: 3 = el más alto, 0 = cero o despreciable			
	Estas puntuaciones son valores relativos al método de almacenamiento en cuestión.			
Fuente potencial de emisiones	Frecuencia de las emisiones Nota 1	Volumen de emisión Nota 2	Puntuación de las emisiones	POSIBLES MCE
Emisiones de gases				
Llenado	2	1	2	Control de la velocidad de llenado (venteo de los no condensables)
Respiración				No procede
Vaciado				No procede
Limpieza	1	2	2	Formación y procedimientos operativos
				Sistema cerrado de limpieza
Inertización	2	1	2	Recogida del vapor
				- tratamiento
Sondeo				No procede
Muestreo	2	1	2	Recogida del vapor
				- tratamiento
Fugitivas	3	1	3	Inspección/mantenimiento
Drenaje	2	2	4	Sistema fijo cerrado de drenaje (conectado al sistema de tratamiento del vapor)
Emisiones de líquidos				
Drenaje	2	0	0	
Limpieza	1	1	1	Procedimientos operativos/ procedimientos de limpieza mediante sistema cerrado
Muestreo	2	0	0	

Tabla 8.11: Fichas de MCE para emisiones operativas. Almacenamiento refrigerado de superficie

Almacenamiento refrigerado de superficie				
Emisiones operativas				
Nota 1:	Frecuencia de las emisiones 1 - 3: 3 = frecuentes (diarias), 1 = esporádicas (una vez cada varios años)			
Nota 2:	Volumen de emisión 0 - 3: 3 = el más alto, 0 = cero o despreciable			
	Estas puntuaciones son valores relativos al método de almacenamiento en cuestión.			
Fuente potencial de emisiones	Frecuencia de las emisiones Nota 1	Volumen de emisión Nota 2	Puntuación de las emisiones	POSIBLES MCE
Emisiones de gases				
Llenado	2	1	2	Sistema normalmente cerrado (venteo de los no condensables)
Respiración				No procede (sin tener en cuenta fallos en la refrigeración)
Vaciado				No procede
Limpieza	1	2	2	Formación y procedimientos operativos
				Sistema cerrado de limpieza
Inertización	2	1	2	Recogida del vapor
				- tratamiento
Sondeo				No procede
Muestreo	2	1	2	Recogida del vapor
				- tratamiento
Fugitivas	2	1	2	Inspección/mantenimiento
Drenaje				No procede
Emisiones de líquidos				
Drenaje				No procede
Limpieza				No procede
Muestreo				No procede

Tabla 8.12: Fichas de MCE para emisiones operativas. Tanques subterráneos.

Almacenamiento atmosférico subterráneo: Tanque horizontal				
Emisiones operativas				
Nota 1:	Frecuencia de las emisiones 1 - 3: 3 = frecuentes (diarias), 1 = esporádicas (una vez cada varios años)			
Nota 2:	Volumen de emisión 0 - 3: 3 = el más alto, 0 = cero o despreciable			
	Estas puntuaciones son valores relativos al método de almacenamiento en cuestión.			
Fuente potencial de emisiones	Frecuencia de las emisiones Nota 1	Volumen de emisión Nota 2	Puntuación de las emisiones	POSIBLES MCE
Emisiones de gases				
Llenado	2	3	6	Válvula de seguridad de presión/vacío (VSPV)
				Recogida del vapor
				- compensación
				- tratamiento
Respiración	2	1	2	VSPV:
Vaciado	2	1	2	VSPV:
				Recogida del vapor
				- compensación
				- tratamiento
Limpieza	1	2	2	Formación y procedimientos operativos
				Sistema cerrado de limpieza
Inertización	3	1	3	VSPV:
				Recogida del vapor
				- tratamiento
Sondeo	2	1	2	Sistema mecánico de sondeo
				Instrumentación
Muestreo	2	1	2	Sistema de muestreo semicerrado
				(NB: sólo con VSPV regulada para altas presiones)
Fugitivas	3	1	3	Inspección/mantenimiento
Drenaje				No procede
Emisiones de líquidos				
Drenaje	1	1	1	Sistema fijo cerrado de drenaje
				Formación y procedimientos operativos
Limpieza	1	2	2	Formación y procedimientos operativos
Muestreo				No procede

Tabla 8.13: Fichas de MCE para emisiones operativas. Almacenamiento atmosférico en cavidades

Almacenamiento atmosférico subterráneo: Cavidades				
Emisiones operativas				
Nota 1:	Frecuencia de las emisiones 1 - 3: 3 = frecuentes (diarias), 1 = esporádicas (una vez cada varios años)			
Nota 2:	Volumen de emisión 0 - 3: 3 = el más alto, 0 = cero o despreciable			
	Estas puntuaciones son valores relativos al método de almacenamiento en cuestión.			
Fuente potencial de emisiones	Frecuencia de las emisiones Nota 1	Volumen de emisión Nota 2	Puntuación de las emisiones	POSIBLES MCE
Emisiones de gases				
Llenado	2	3	6	Válvula de seguridad de presión/vacío (VSPV)
				Recogida del vapor
				- compensación
				- tratamiento
Respiración	2	1	2	VSPV:
Vaciado	2	1	2	VSPV:
				Recogida del vapor
				- compensación
				- tratamiento
Limpieza				No procede
Inertización				No procede
Sondeo	2	1	2	Sistema mecánico de sondeo
				Instrumentación
Muestreo	2	1	2	Sistema de muestreo semicerrado
				(NB: sólo con VSPV regulada para altas presiones)
Fugitivas	3	1	3	Inspección/mantenimiento
Drenaje	2	1	2	Sistema fijo cerrado de drenaje
Emisiones de líquidos				
Drenaje	2	1	2	Mantener suficiente agua en el fondo mediante automatización
Limpieza				No procede
Muestreo	2	0	0	

Tabla 8.14: Fichas de MCE para emisiones operativas. Almacenamiento atmosférico en minas de sal

Almacenamiento atmosférico subterráneo: Minas de sal				
Emisiones operativas				
Nota 1:	Frecuencia de las emisiones 1 - 3: 3 = frecuentes (diarias), 1 = esporádicas (una vez cada varios años)			
Nota 2:	Volumen de emisión 0 - 3: 3 = el más alto, 0 = cero o despreciable			
	Estas puntuaciones son valores relativos al método de almacenamiento en cuestión.			
Fuente potencial de emisiones	Frecuencia de las emisiones Nota 1	Volumen de emisión Nota 2	Puntuación de las emisiones	POSIBLES MCE
Emisiones de gases				
Llenado				? - pendiente de investigación
Respiración				No procede
Vaciado				? - pendiente de investigación
Limpieza				? - pendiente de investigación
Inertización				No procede
Sondeo				? - pendiente de investigación
Muestreo				? - pendiente de investigación
Fugitivas				? - pendiente de investigación
Drenaje				? - pendiente de investigación
Emisiones de líquidos				
Drenaje	2	1	2	Mantener suficiente agua en el fondo mediante automatización
Limpieza				No procede
Muestreo	2	0	0	

Tabla 8.15: Fichas de MCE para emisiones operativas. Almacenamiento a presión en cavidades

Almacenamiento subterráneo a presión: Cavidades				
Emisiones operativas				
Nota 1:	Frecuencia de las emisiones 1 - 3: 3 = frecuentes (diarias), 1 = esporádicas (una vez cada varios años)			
Nota 2:	Volumen de emisión 0 - 3: 3 = el más alto, 0 = cero o despreciable			
	Estas puntuaciones son valores relativos al método de almacenamiento en cuestión.			
Fuente potencial de emisiones	Frecuencia de las emisiones Nota 1	Volumen de emisión Nota 2	Puntuación de las emisiones	POSIBLES MCE
Emisiones de gases				
Llenado	2	1	2	Control de la velocidad de llenado (venteo de los no condensables)
Respiración				No procede
Vaciado				No procede
Limpieza				No procede
Inertización				No procede
Sondeo				No procede
Muestreo	2	1	2	Recogida del vapor - tratamiento
Fugitivas	2	1	2	Inspección/mantenimiento
Drenaje	2	1	2	Sistema fijo cerrado de drenaje
Emisiones de líquidos				
Drenaje				Mantener suficiente agua en el fondo mediante automatización
Limpieza				No procede
Muestreo				No procede

Tabla 8.16: Fichas de MCE para emisiones operativas. Balsas y estanques

Almacenamiento atmosférico de superficie: Balsas y estanques				
Emisiones operativas				
Nota 1:	Frecuencia de las emisiones 1 - 3: 3 = frecuentes (diarias), 1 = esporádicas (una vez cada varios años)			
Nota 2:	Volumen de emisión 0 - 3: 3 = el más alto, 0 = cero o despreciable			
	Estas puntuaciones son valores relativos al método de almacenamiento en cuestión.			
Fuente potencial de emisiones	Frecuencia de las emisiones Nota 1	Volumen de emisión Nota 2	Puntuación de las emisiones	POSIBLES MCE
Emisiones de gases				
Llenado (balsa)	2	3	6	Ninguna
Llenado (estanque)	2	3	6	Cubierta flotante
En reposo (balsa)	3	3	9	Ninguna
En reposo (estanque)	3	3	9	Cubierta flotante
				Cubierta fija
Vaciado	2	1	2	No procede
Limpieza	1	2	2	Formación y procedimientos operativos
				Sistema cerrado de limpieza (NB: sólo si hay una cubierta instalada)
Inertización				No procede
Sondeo manual				No procede
Muestreo				No procede
Fugitivas				No procede
Drenaje				No procede
Emisiones de líquidos				
Drenaje	2	1	2	Sistema fijo cerrado de drenaje
				Formación y procedimientos operativos
Limpieza	1	3	3	Formación y procedimientos operativos
Muestreo	2	0	0	

Tabla 8.17: Fichas de MCE para emisiones operativas. Almacenamiento flotante

Almacenamiento flotante				
Emisiones operativas				
Nota 1:	Frecuencia de las emisiones 1 - 3: 3 = frecuentes (diarias), 1 = esporádicas (una vez cada varios años)			
Nota 2:	Volumen de emisión 0 - 3: 3 = el más alto, 0 = cero o despreciable			
	Estas puntuaciones son valores relativos al método de almacenamiento en cuestión.			
Fuente potencial de emisiones	Frecuencia de las emisiones Nota 1	Volumen de emisión Nota 2	Puntuación de las emisiones	POSIBLES MCE
Emisiones de gases				
Llenado	2	3	6	Válvula de seguridad de presión/vacío (VSPV)
				Recogida del vapor
				- compensación
				- tratamiento
Respiración	3	2	6	VSPV:
				Color de la pintura de la plataforma
				Recogida del vapor
				- depósito para vapores
				- tratamiento
Vaciado	2	1	2	VSPV:
				Recogida del vapor
				- compensación
Limpieza	1	2	2	Formación y procedimientos operativos
				Sistema cerrado de limpieza
Inertización	3	2	6	VSPV:
				Recogida del vapor
				- tratamiento
Sondeo	2	1	2	Sistema mecánico de sondeo
				Instrumentación
Muestreo	2	1	2	Sistema de muestreo semicerrado
				(NB: sólo con VSPV regulada para altas presiones)
Fugitivas	3	1	3	Inspección/mantenimiento
Drenaje	2	1	2	Sistema fijo cerrado de drenaje
Emisiones de líquidos				
Drenaje	2	0	0	
Limpieza	1	3	3	Formación y procedimientos operativos
Muestreo	2	0	0	

Tabla 8.18: Fichas de MCE para emisiones operativas. Tanque de techo levadizo

Almacenamiento atmosférico de superficie: Tanque de techo levadizo				
Emisiones operativas				
Nota 1:	Frecuencia de las emisiones 1 - 3: 3 = frecuentes (diarias), 1 = esporádicas (una vez cada varios años)			
Nota 2:	Volumen de emisión 0 - 3: 3 = el más alto, 0 = cero o despreciable			
	Estas puntuaciones son valores relativos al método de almacenamiento en cuestión.			
Fuente potencial de emisiones	Frecuencia de las emisiones Nota 1	Volumen de emisión Nota 2	Puntuación de las emisiones	POSIBLES MCE
Emisiones de gases				
Respiración	3	0	0	No procede
Llenado	2	3	6	VSPV: Recogida del vapor - tratamiento
Vaciado	2	1	2	VSPV: Recogida del vapor - tratamiento
Limpieza	1	2	2	Formación y procedimientos operativos Sistema cerrado de limpieza
Inertización	3	2	6	VSPV: Recogida del vapor - tratamiento
Sondeo manual	2	1	2	Sistema mecánico de sondeo Instrumentación
Muestreo	2	1	2	Sistema de muestreo semicerrado (NB: sólo con VSPV regulada para altas presiones) Muestreo del lateral de la estructura
Fugitivas	3	1	3	Inspección/mantenimiento
Drenaje	2	1	2	Salida de agua semiautomática Sistema fijo cerrado de drenaje
Emisiones de líquidos				
Drenaje	2	1	2	Formación y procedimientos operativos Sistema fijo cerrado de drenaje
Limpieza	1	3	3	Formación y procedimientos operativos
Muestreo	2	0	0	Formación y procedimientos operativos Sistema estanco de muestreo Contención

8.10. Fichas de MCE para la transferencia y manipulación de líquidos y gases licuados

Tabla 8.19: Fichas de MCE para emisiones operativas. Sistemas de transferencia por superficie: Tuberías cerradas

Sistemas de transferencia por superficie: tuberías cerradas; emisiones operativas				
Nota 1:	Frecuencia de las emisiones 1 - 3: 3 = frecuentes (diarias), 1 = esporádicas (una vez cada varios años)			
Nota 2:	Volumen de emisión 1 - 3: 3 = el más alto, 0 = cero o despreciable			
	Estas puntuaciones son valores relativos al método de almacenamiento en cuestión.			
Fuente potencial de emisiones	Frecuencia de las emisiones Nota 1	Volumen de emisión Nota 2	Puntuación de las emisiones	POSIBLES MCE
Emisiones de gases				
Llenado	2	2	4	Formación y procedimientos operativos
				Recogida del vapor
				- tratamiento
				- compensación
Limpieza	1	2	2	Formación y procedimientos operativos
				Sistema cerrado de limpieza (etc.)
Rascado de tuberías	2	1	2	formación y procedimientos operativos
				Recogida del vapor
				- tratamiento
				- compensación
Purga	1	2	2	Formación y procedimientos operativos
				Recogida del vapor
				- tratamiento
				- compensación
Muestreo	2	1	2	Sistema de muestreo semicerrado
(Des) conexión	2	1	2	Formación y procedimientos operativos
Apertura	1	2	2	Formación y procedimientos operativos
Fugitivas	3	1	3	Inspección/mantenimiento
Vaciado/ drenaje	2	1	2	Formación y procedimientos operativos
Emisiones de líquidos				
Drenaje	2	1	2	Procedimientos operativos

Fuente potencial de emisiones	Frecuencia de las emisiones Nota 1	Volumen de emisión Nota 2	Puntuación de las emisiones	POSIBLES MCE
				Sistemas fijos cerrados de drenaje
				Contención
Limpieza	1	2	2	Formación y procedimientos operativos
Muestreo	2	1	2	Formación y procedimientos operativos
Rascado de tuberías	2	1	2	Procedimientos operativos
				Contención
(Des) conexión	2	1	2	Procedimientos operativos
				Contención
Alivio de presión	2	1	2	Procedimientos operativos
				Sistema cerrado de alivio
				Contención
Apertura	2	1	2	Procedimientos operativos
				Contención

Tabla 8.20: Fichas de MCE para emisiones operativas. Sistemas de transferencia por superficie: Tuberías abiertas

Sistemas de transferencia por superficie: tuberías abiertas; emisiones operativas.				
Nota 1:	Frecuencia de las emisiones 1 - 3: 3 = frecuentes (diarias), 1 = esporádicas (una vez cada varios años)			
Nota 2:	Volumen de emisión 1 - 3: 3 = el más alto, 0 = cero o despreciable			
	Estas puntuaciones son valores relativos al método de almacenamiento en cuestión.			
Fuente potencial de emisiones	Frecuencia de las emisiones Nota 1	Volumen de emisión Nota 2	Puntuación de las emisiones	POSIBLES MCE
Emisiones de gases				
Llenado (incl. en reposo)	2	3	6	Formación y procedimientos operativos
				Sistema cerrado (cuando proceda)
Limpieza	2	2	4	Formación y procedimientos operativos
				Sistema cerrado (cuando proceda)
Rascado de tuberías				No procede
Purga				No procede
Muestreo				No procede
(Des)conexión				No procede
Apertura				No procede
Fugitivas				No procede
Vaciado/drenaje				No procede
Emisiones de líquidos				
Drenaje	2	1	2	Formación y procedimientos operativos
Limpieza	2	2	4	Formación y procedimientos operativos
Muestreo	2	1	2	Formación y procedimientos operativos
Rascado de tuberías				No procede
(Des)conexión				No procede
Alivio de presión				No procede
Apertura				No procede

Tabla 8.21: Fichas de MCE para emisiones operativas. Sistemas subterráneos de transferencia: Tuberías cerradas

Sistemas subterráneos de transferencia: tuberías cerradas; emisiones operativas				
Nota 1:	Frecuencia de las emisiones 1 - 3: 3 = frecuentes (diarias), 1 = esporádicas (una vez cada varios años)			
Nota 2:	Volumen de emisión 1 - 3: 3 = el más alto, 0 = cero o despreciable			
	Estas puntuaciones son valores relativos al método de almacenamiento en cuestión.			
Fuente potencial de emisiones	Frecuencia de las emisiones Nota 1	Volumen de emisión Nota 2	Puntuación de las emisiones	POSIBLES MCE
Emisiones de gases				
Llenado	2	2	4	Formación y procedimientos operativos
				Recogida del vapor
				- compensación
Limpieza	1	2	2	Formación y procedimientos operativos
				Sistema cerrado de limpieza (etc.)
Rascado de tuberías	2	1	2	Formación y procedimientos operativos
				Recogida del vapor
				- tratamiento
				- compensación
Purga	1	2	2	Formación y procedimientos operativos
				Recogida del vapor
				- tratamiento
				- compensación
Muestreo	2	1	2	Sistema de muestreo semicerrado
(Des)conexión	2	1	2	Formación y procedimientos operativos
Apertura	1	2	2	Formación y procedimientos operativos

Fuente potencial de emisiones	Frecuencia de las emisiones Nota 1	Volumen de emisión Nota 2	Puntuación de las emisiones	POSIBLES MCE
Fugitivas	3	1	3	Inspección/ mantenimiento (arquetas de válvulas, etc.)
Vaciado/ drenaje	2	1	2	Formación y procedimientos operativos
Emisiones de líquidos				
Drenaje	2	1	2	Procedimientos operativos
				Sistemas fijos cerrados de drenaje
Limpieza	1	2	2	Formación y procedimientos operativos
Rascado de tuberías	2	1	2	Procedimientos operativos
(Des)conexión				No procede
Alivio de presión	2	1	2	Procedimientos operativos
				Sistema cerrado de alivio
Apertura	1	1	1	Procedimientos operativos
Muestreo	2	1	2	Formación y procedimientos operativos

Tabla 8.22: Fichas de MCE para emisiones operativas. Métodos de manipulación de productos: bombas y compresores.

Métodos de manipulación de productos: bombas y compresores; emisiones operativas				
Nota 1:	Frecuencia de las emisiones 1 - 3: 3 = frecuentes (diarias), 1 = esporádicas (una vez cada varios años)			
Nota 2:	Volumen de emisión 1 - 3: 3 = el más alto, 0 = cero o despreciable			
	Estas puntuaciones son valores relativos al método de almacenamiento en cuestión.			
Fuente potencial de emisiones	Frecuencia de las emisiones Nota 1	Volumen de emisión Nota 2	Puntuación de las emisiones	POSIBLES MCE
Emisiones de gases				
Llenado	2	0	0	No procede
Limpieza	1	0	0	No procede
Rascado de tuberías				No procede
Purga				No procede
Muestreo				No procede
(Des)conexión				No procede
Apertura	1	1	1	Formación y procedimientos operativos
Fugitivas	3	1	3	Inspección/mantenimiento
				Elementos secundarios de estanquidad o bombas herméticas
Vaciado/drenaje	2	0	0	No procede
Emisiones de líquidos				
Drenaje	2	1	2	Sistemas fijos cerrados de drenaje
				Procedimientos operativos
				Contención
Limpieza	1	1	1	Formación y procedimientos operativos
Muestreo				No procede
Rascado de tuberías				No procede
(Des)conexión				No procede
Alivio de presión				No procede
Apertura	1	1	1	Procedimientos operativos
				Contención

8.11. Metodología para rellenar la tabla de evaluación de MCE

A continuación se describe la metodología para rellenar una tabla de evaluación de MCE (ver anexo 8.12). Este método puede utilizarse iterativamente para determinar si una combinación de MCE cumple las MTD.

Se supone que ya se dispone de MCE no físicas, es decir, procedimientos operativos, inspección y mantenimiento, etc.

El método puede utilizarse para evaluar las MCE de un solo tanque o varios tanques similares con productos compatibles. Los pasos que se indican a continuación presuponen que se va a evaluar un solo tanque, pero la metodología sería la misma si se evaluara más de uno.

La metodología sirve tanto para tanques nuevos como para tanques ya instalados, aunque hay algunas diferencias.

Esta metodología exige realizar una estimación de las emisiones. Para la mayoría de las MCE utilizadas en los tanques a presión atmosférica, esta estimación se puede realizar utilizando modelos ya existentes, como el API, el US EPA o el TNO. Sin embargo, para los tanques de almacenamiento a presiones más elevadas que la atmosférica no hay modelos equivalentes y, por lo tanto, las estimaciones de las emisiones tienen que realizarse a partir de datos prácticos, el asesoramiento de los ingenieros, etc.

En el Anexo 8.13 se presenta el estudio de cuatro casos.

Evaluación inicial de las MCE

Paso 1: Estimar la media anual de emisiones a partir del caso básico en función de la ubicación del tanque. Para todos los tanques atmosféricos de techo fijo, el caso básico consiste en un TTF con el mismo diámetro y altura de cuerpo, y equipado con orificios abiertos de venteo. Para los TTFE, hay que tener en cuenta dos casos: el caso no controlado y el caso básico. El caso no controlado consiste en un TTF con unas dimensiones equivalentes a las del TTFE. El caso básico sería un TTFE con un techo equipado con un elemento primario de estanquidad para vapores. El caso básico para otros tipos de tanques deberá decidirse entre todas las partes involucradas en la evaluación de las MCE del tanque en cuestión.

Los cálculos de las emisiones tienen que realizarse utilizando un método de estimación que resulte aceptable para las autoridades locales.

Paso 2: En el caso de los tanques ya instalados, si dicho tanque ya tiene instalada alguna MCE, deberá estimarse la media anual de emisiones del tanque.

Paso 3: Comparar las emisiones del tanque ya instalado con las del caso básico (o el caso no controlado, si se trata de un TTFE) y calcular la eficiencia en la reducción de las emisiones como un porcentaje de:

Para un TTF: $[(\text{emisiones del caso básico} - \text{emisiones del tanque ya instalado}) \times 100] \div (\text{emisiones del caso básico})$

Para un TTFE: $[(\text{emisiones del caso no controlado} - \text{emisiones del tanque ya instalado}) \times 100] \div (\text{emisiones del caso no controlado})$

Si la eficiencia en la reducción de las emisiones cumple las MTD, entonces no se considera necesario aplicar ninguna otra medida de reducción de las emisiones. Si no es así, entonces deberán seguirse los siguientes pasos.

Paso 4: Identificar las MCE necesarias para que ese sistema de almacenamiento concreto obtenga una puntuación de emisiones de 3 o más en la tabla correspondiente del capítulo 3 (que muestra las posibles emisiones a la atmósfera procedentes de fuentes operativas) y del anexo 8.9.

Paso 5: Realizar estimaciones independientes de las emisiones para el tanque del caso básico equipado con todas las MCE identificadas.

Paso 6: A partir de las estimaciones de las emisiones, determinar el porcentaje de eficiencia en la reducción de las emisiones en relación con el caso básico para las MCE en cuestión utilizando la siguiente fórmula:

$[(\text{emisiones del caso básico} - \text{emisiones del tanque con una MCE instalada}) \times 100] \div \text{emisiones del caso básico}$

Paso 7: A partir de las eficiencias obtenidas, establecer un sistema de puntuación del 0 al 100 % dividido en cinco niveles. El sistema de puntuación tiene que tener en cuenta las propiedades del material evaluado, factores intrínsecos a su ubicación, etc.

Por ejemplo, cuando se considere que el producto es relativamente inocuo para el ambiente, la empresa y las autoridades encargadas de conceder los permisos podrán definir un sistema de puntuación del potencial de reducción de las emisiones (PRE) como el siguiente:

Puntuación	Potencial de reducción de las emisiones (Eficiencia de la MCE)
1	De 0 a < 20 %
2	De 20 a < 40 %
3	De 40 a < 60 %
4	De 60 a < 80 %
5	De 80 a < 100 %

Por otro lado, cuando el producto se considere muy peligroso para el ambiente, se podrá definir un sistema de puntuación como el siguiente:

Puntuación	Potencial de reducción de las emisiones (Eficiencia de la MCE)
1	De 0 a < 95 %
2	De 95 a < 98 %
3	De 98 a < 99 %
4	De 99 a < 99,5 %
5	De 99,5 a < 100 %

En los casos de estudio se dan algunos ejemplos (anexo 8.13). El sistema de puntuación utilizado tiene que consensuarse entre todas las partes implicadas en la evaluación del tanque.

Paso 8: Rellenar la columna correspondiente al potencial de reducción de las emisiones de la tabla de evaluación de MCE utilizando puntuaciones del 1 al 5 (donde 1 corresponde a la menor eficiencia y 5 a la mayor) según los datos obtenidos en el **paso 6** sobre la eficiencia en la reducción de las emisiones.

Paso 9: Con la ayuda de la información que se ofrece en el capítulo 4 y la experiencia previa con el producto y el método de almacenamiento, completar las cuatro columnas correspondientes a las cuestiones operativas de la tabla de evaluación (a saber, facilidad de manipulación, aplicabilidad, cuestiones de seguridad, energía/residuos/efectos cruzados).

La puntuación va de 1 a 5, donde 5 significa lo siguiente:

- **Facilidad de manipulación:** es la más fácil de utilizar;
- **Aplicabilidad:** aplicable a la variedad más amplia de productos;
- **Seguridad:** la seguridad para los operarios es la más alta;
- **Energía/residuos/efectos cruzados:** tiene el menor consumo de energía, produce la menor cantidad de residuos y provoca los menores efectos cruzados.

Paso 10: Determinar el coste aproximado de suministrar e instalar la MCE en cuestión. Esto puede variar en función de si el tanque es nuevo y aún no se ha instalado o si, en cambio, el tanque ya existe y, por tanto, la MCE consistiría en una remodelación del mismo. El coste de una remodelación debe incluir todas las medidas necesarias para que la instalación se realice con total seguridad, como por ejemplo la limpieza del tanque o la liberación del gas.

Paso 11: A partir del margen de costes obtenido, determinar un sistema de puntuación que divida dicho coste en 5 tramos, de mayor a menor. En los casos de estudio se dan algunos ejemplos.

Paso 12: A partir de los costes obtenidos en el **paso 10**, rellenar la columna correspondiente al CAPEX con este valor de 1 a 5, donde 5 sería el coste de instalación más bajo y 1 el más alto.

Paso 13: Determinar el coste aproximado resultante de utilizar la MCE en cuestión durante un período de diez años. Aquí deberá incluirse el coste de los servicios públicos necesarios para hacer funcionar la MCE (por ejemplo, la electricidad empleada para accionar las URV), así como los gastos de formación del personal y de mantenimiento.

Paso 14: A partir del margen de costes obtenido, determinar un sistema de puntuación que divida dicho coste en 5 tramos, de mayor a menor. En los casos de estudio se dan algunos ejemplos.

Paso 15: A partir de los costes obtenidos en el **paso 13**, rellenar la columna correspondiente al OPEX con este valor de 1 a 5, donde 5 sería el coste de explotación más bajo y 1 el más alto.

Paso 16: Calcular la puntuación operativa, la puntuación del coste y la puntuación total, tal y como se indica en el anexo 8.12.

Paso 17:

1. En el caso de un tanque nuevo, la evaluación inicial de las MCE consistirá en el tanque equipado con las MCE que tienen la puntuación total más alta.
2. Para los tanques ya instalados, se tendrán que comparar las emisiones del tanque del caso básico equipado con las MCE que tienen la puntuación más alta en 1) con las de los tanques tal como están (según los pasos 1 y 2). Si el tanque actual provoca una menor cantidad de emisiones, entonces la evaluación inicial de las MCE será el tanque con las MCE tal y como están instaladas.

Comparar las emisiones del tanque con esta configuración con los niveles de emisiones asociados a las MTD y otros requisitos legales. Si el tanque cumple estos requisitos, entonces no se considera necesario aplicar ninguna otra medida de reducción de las emisiones. Si no es así, entonces deberá seguirse el siguiente proceso iterativo.

Segunda ronda de evaluación de las MCE

Paso A: Con la ayuda de la tabla de compatibilidad de MCE del apartado 4.1.3.16, determinar qué MCE son compatibles con lo establecido en el **paso 17(1)** (o las que se han aplicado a un tanque ya existente si se considera que, de entrada, cumple las MTD del **paso 17(2)**).

Paso B: A partir de la tabla de evaluación de la MCE inicial, determinar cuáles de las MCE compatibles tienen una puntuación total mediana o alta. Un ejemplo de MCE podrían ser las que tienen una puntuación total un 50 % superior a la puntuación total de las MCE identificadas inicialmente.

Paso C: Elaborar una nueva tabla de evaluación de las MCE que incluya las MCE que tienen la puntuación más alta y las MCE compatibles. En los casos de estudio se da un ejemplo.

Paso D: Estimar las emisiones del tanque con la MCE que ha obtenido la mayor puntuación instalada, más una de las MCE compatibles. Repetir el cálculo con cada MCE compatible.

Paso E: A partir de los cálculos de las emisiones, determinar el incremento de la eficiencia en la reducción de las emisiones en relación con el caso evaluado inicialmente, según la siguiente fórmula:

$$\left(\frac{\text{Emisiones del tanque equipado con la MCE que tiene la puntuación más alta} - \text{emisiones del tanque con la MCE que tiene la puntuación más alta, más otra MCE compatible}}{\text{emisiones del tanque equipado con la MCE que tiene la puntuación más alta}} \times 100 \right)$$

Paso F: A partir del incremento de la eficiencia en la reducción de las emisiones que se ha obtenido, establecer un sistema de puntuación del 0 al 100 % dividido en cinco niveles.

Paso G: Rellenar la columna correspondiente al potencial de reducción de las emisiones de la tabla de evaluación de MCE utilizando puntuaciones del 1 al 5 (donde 1 corresponde al menor incremento de la eficiencia y 5 al mayor) según los datos obtenidos en el **paso E** sobre el incremento de la eficiencia en la reducción de las emisiones.

Paso H: Con la ayuda de la información que se ofrece en el capítulo 4 y la experiencia previa con el producto y el método de almacenamiento, completar las cuatro columnas correspondientes a las cuestiones operativas de la tabla de evaluación (a saber, facilidad de manipulación, aplicabilidad, cuestiones de seguridad, energía/residuos/efectos cruzados). Estas puntuaciones se harán igual que en el **paso 9**.

Paso J: Determinar el CAPEX y el OPEX de las MCE adicionales que se están evaluando. El criterio es el mismo que en los pasos 10 y 13. A partir del margen de costes obtenido, determinar un sistema de puntuación que divida dicho coste en 5 tramos, de mayor a menor. En los casos de estudio se dan algunos ejemplos.

Paso K: Rellenar las columnas correspondientes al CAPEX y al OPEX.

Paso L: Calcular la puntuación operativa, la puntuación del coste y la puntuación total, tal y como se indica en el anexo 8.12.

La segunda ronda de evaluación de las MCE es el tanque equipado con la combinación de MCE que han obtenido la puntuación total más alta.

Si es necesario, se puede realizar una tercera ronda de evaluación. En esta ronda se revisarán las MCE de la tabla de evaluación de la segunda ronda que hayan obtenido una puntuación mediana o alta. Un ejemplo de MCE podrían ser las que tienen una puntuación total un 50 % superior a la puntuación total de las MCE de la segunda ronda que tienen las puntuaciones más altas.

8.12. Tabla de evaluación de las medidas de control de las emisiones para gases y líquidos

Almacenamiento atmosférico de superficie: Techo flotante externo														
Emisiones operativas														
Fuente potencial de emisiones Solo las puntuaciones >= 3 se tienen en cuenta	POTIBLES MCE	Potencial de reducción de las emisiones	Facilidad de manipulación	Aplicabilidad	Cuestiones de seguridad	Efectos cruzados	Puntuación operativa	CAPEX (nuevo)	CAPEX (mejora)	OPEX (servicios públicos)	OPEX (operaciones y mantenimiento)	Puntuación de coste (nuevo) =F*(H+I)	Puntuación de coste (mejora) =G*(H+I)	Puntuación total
Emisiones de gases														
A	B	C	D	E	=B+C+D+E	F	G	H	I	=F*(H+I)	=G*(H+I)			
llenado	formación y procedimientos operativos													
(hasta que el techo flote sobre el líquido)	instrumentación													
en reposo	color de la pintura del cuerpo/techo													
	techo abovedado													
	techo de pontón													
	- con elementos primarios de estanquidad para vapores													
	- con elementos primarios de estanquidad para líquidos													
	- con zapata mecánica de cierre													
	- con elementos secundarios de estanquidad													
	techo de doble plataforma													

8.13. Estudio de casos para la metodología de evaluación de las MCE

Este anexo presenta cinco casos de estudio que ilustran la metodología de evaluación de MCE descrita en el Anexo 8.11 para métodos de almacenamiento a presión atmosférica.

Los casos de estudio tratan sobre los siguientes tipos de tanques y tipos de productos almacenados:

1. tanque TFE de 100 000 metros cúbicos de capacidad para crudo;
2. tanque TTF 2a. de 10 000 metros cúbicos de capacidad para nafta ligera;
3. tanque TTF de 1000 metros cúbicos de capacidad para acrilonitrilo (ACN);
4. tanque TTF de 100 metros cúbicos de capacidad para ACN.

La idea es hacer una demostración de la metodología y, por lo tanto, no se pretende establecer unas reglas para los diferentes tipos de tanques y productos. La evaluación de las MCE tiene que tener en cuenta multitud de factores, como el emplazamiento, el uso del tanque, factores locales que afectan al coste, etc.

8.13.1. de estudio número 1: TTFE ya instalado

Tipo de tanque: Un TFE ya instalado en el que se almacena crudo a una presión de vapor Reid de 34 kPa.

Ubicación: Norte de Europa – media anual de temperatura 10 °C, media anual de radiación solar 120 W/m², media anual de la velocidad del viento 4 m/s.

Detalles:

- TFE de doble plataforma con elemento primario de estanquidad para vapores;
- cuerpo soldado, color gris medio, en buen estado;
- la parte interior del cuerpo está un poco oxidada;
- dimensiones: diámetro 90 m, altura 16 m, capacidad 101 787 m³;
- equipado con guía/pozo de medida calibrado;
- Renovaciones: 12 veces al año de media.

Caso de estudio número 1 - Evaluación de la MCE inicial

Paso 1: Se hace una estimación de las emisiones. En el siguiente ejemplo, se ha utilizado el software US EPA Tanks 4.

El caso básico para un TFE es un tanque pintado de color gris medio con el techo flotante y equipado únicamente con un elemento primario de estanquidad para vapores. Si se ha instalado una guía o un pozo fijo, el caso básico tiene que tener

en cuenta el tipo que se haya instalado sin dispositivos de control de las emisiones. El tanque instalado es, por tanto, equivalente al caso básico.

- a) Emisiones en el caso no controlado (TTF con la misma capacidad) = 518 187 kg/año
- b) Emisiones en el caso básico (en este caso: tanque ya instalado) = 24 425 kg/año

Paso 2: No es necesario, ya que el TTFE ya instalado no requiere MCE adicionales, aparte de las del caso básico.

Paso 3: Reducción porcentual respecto del caso no controlado = 95,3 %

Puesto que se trata de un ejemplo, supondremos que se necesitan más controles.

Paso 4: Las fuentes de emisión con una puntuación de 3 o más se indican en Tabla 3.6. Las MCE para controlar estas emisiones se muestran en la ficha del anexo, en Tabla 8.6

Las MCE que se tienen que tener en cuenta para controlar las emisiones en reposo son las siguientes:

- Cambiar la junta primaria por una de zapata mecánica;
- Cambiar la junta primaria por una de contacto líquido;
- Cambiar la junta por una primaria de contacto líquido y una secundaria periférica;
- Instalar fundas en las patas del techo;
- Instalar un flotador en el pozo de medida calibrado;
- Instalar una camisa en el pozo de medida calibrado;
- Pintar el tanque de color blanco;
- Instalar un techo abovedado en el tanque.

El efecto de estas MCE puede determinarse utilizando el software Tanks 4.

Además, para controlar las emisiones de llenado (hasta que el techo flote sobre el líquido superficie), los instrumentos de medición del nivel se identifican como MCE. La eficacia de esta MCE para controlar las emisiones tiene que determinarse a partir de la reducción del número de veces al año que el TFE se apoye sobre sus patas, y el volumen y concentración de vapor totales liberados durante el posterior llenado antes de que el techo vuelva a flotar.

Pasos 5 y 6: A continuación se presentan los resultados de la estimación de las emisiones y los cálculos realizados de la eficiencia en la reducción de las mismas.

Caso	Total de emisiones (kg)	Eficiencia de las MCE (%)
Básico	24 425	0
Caso básico cambiando el color de la pintura del tanque a blanco	20 749	15,0
Caso básico instalando un techo abovedado en el tanque	1580	93,5
Cambiar la junta primaria por una de zapata mecánica;	7688	68,5
Cambiar la junta primaria por una de contacto líquido;	3870	84,2
Cambiar la junta por una primaria de contacto líquido y una secundaria periférica;	2673	89,1
Caso básico más flotador en la guía calibrada	23 372	4,3
Caso básico más camisa sobre la guía calibrada	22 960	6,0
Caso básico más fundas en las patas del techo	24 345	0,3

Paso 7: Se establece el sistema de puntuación que se va a utilizar:

Puntuación	Potencial de reducción de las emisiones (Eficiencia de la MCE)
1	De 0 a < 50 %
2	De 50 a < 75 %
3	De 75 a < 85 %
4	De 85 a < 95 %
5	De 95 a < 100 %

Paso 8: En consecuencia, las puntuaciones de las MCE son las siguientes:

MCE	Puntuación del potencial de reducción de las emisiones
Instrumentación	1
Caso básico cambiando el color de la pintura del tanque a blanco	1
Caso básico instalando un techo abovedado en el tanque	4
Cambiar la junta primaria por una de zapata mecánica;	2
Cambiar la junta primaria por una de contacto líquido;	3
Cambiar la junta por una primaria de contacto líquido y una secundaria periférica;	4
Caso básico más flotador en el pozo de medida calibrado	1
Caso básico más camisa sobre el pozo de medida calibrado	1
Caso básico más fundas en las patas del techo	1

Paso 9: De acuerdo con la información que se ofrece en el capítulo 4 y el asesoramiento de los ingenieros, las puntuaciones correspondientes a las cuestiones operativas serían las siguientes:

MCE	Facilidad de manipulación	Aplicabilidad	Seguridad	Residuos, etc.
Instrumentación	5	5	5	5
Caso básico cambiando el color de la pintura del tanque a blanco	5	4	5	3
Caso básico instalando un techo abovedado en el tanque	2	2	1	4
Cambiar la junta primaria por una de zapata mecánica;	5	5	4	5
Cambiar la junta primaria por una de contacto líquido;	5	5	4	5
Cambiar la junta por una primaria de contacto líquido y una secundaria periférica;	4	5	4	5
Caso básico más flotador en el pozo de medida calibrado	2	5	4	5
Caso básico más camisa sobre el pozo de medida calibrado	4	5	4	5
Caso básico más fundas en las patas del techo	5	5	4	5

Paso 10: Se determina el coste de remodelar los tanques para incorporar estas MCE. Dicho coste estaría entre 5500 y 746 000 €.

Paso 11: Se establece el sistema de puntuación que se va a utilizar:

Puntuación	CAPEX (EUR)
5	< 10 000
4	De 10 000 a < 50 000
3	De 50 000 a < 100 000
2	De 100 000 a < 500 000
1	Igual o > 500 000

Obsérvese que no se ha utilizado un sistema proporcional, ya que no habría permitido diferenciar las MCE con un coste inferior a 100 000 €.

Paso 12: La tabla de evaluación completa se muestra en el **paso 15**.

Paso 13: Los datos correspondientes a los gastos operativos de las MCE se calculan a diez años vista. Así, el OPEX estaría entre 1000 y 32 000 €.

Paso 14:

Se establece el sistema de puntuación que se va a utilizar:

Puntuación	OPEX (EUR)
5	< 5000
4	De 5000 a < 10 000
3	De 10 000 a < 15 000
2	De 15 000 a < 20 000
1	Igual o > 20 000

Pasos 15 y 16: La tabla de evaluación completa se muestra en Tabla 8.23.

Paso 17: La MCE con la puntuación total más alta corresponde al elemento primario de estanquidad para líquidos, más un elemento secundario de estanquidad periférico.

De los **pasos 5 y 6** puede verse que las emisiones estimadas con esta MCE son de 2673 kg/año, comparado con los 24 425 kg/año del caso básico. Esto es un 99,5 % del caso no controlado.

Por lo tanto, el resultado de la evaluación inicial de las MCE para este tanque es que debería cambiarse la junta primaria de contacto gaseoso por una primaria de contacto líquido más una junta periférica secundaria, que a partir de ahora será la MCE inicial.

Si es necesario, puede repetirse la evaluación utilizando la misma metodología. A continuación se detalla una nueva ronda de evaluación a corte de ejemplo.

Caso de estudio 1 - Segunda ronda de evaluación de las MCE

Paso A: La tabla de compatibilidad indica que las siguientes MCE son compatibles con la MCE inicial:

- Instalar fundas en las patas del techo;
- Instalar un flotador en el pozo de medida calibrado;
- Instalar una camisa en el pozo de medida calibrado;
- Pintar el tanque de color blanco;
- Instalar un techo abovedado en el tanque.

Paso B: La tabla de evaluación inicial (Tabla 8.23) muestra que sólo las fundas de las patas del techo obtuvieron una puntuación total de más del 50 % que el sistema de estanquidad con la puntuación total más alta (la MCE inicial). El pozo

fijo con flotador y camisa tenía unas puntuaciones del 40 % aproximadamente. La evaluación habría continuado con una reevaluación de estas tres MCE respecto de la MCE inicial.

Sin embargo, como es un caso de ejemplo, continuaremos con una evaluación de todas las MCE compatibles para controlar pérdidas en reposo.

Paso C: La nueva tabla de evaluación se muestra en el **paso K**.

Pasos D y E: A continuación se presentan los resultados de la estimación de las emisiones y los cálculos del incremento de la eficiencia.

Caso	Total de emisiones (kg)	Incremento de la eficiencia (%)
MCE inicial: Cambiar la junta por una primaria de contacto líquido y una secundaria periférica;	2673	0
MCE inicial cambiando el color de la pintura del tanque a blanco	2336	12,6
MCE inicial instalando un techo abovedado en el tanque	643	75,9
MCE inicial más flotador en el pozo de medida calibrado	1621	39,4
MCE inicial más camisa sobre el pozo de medida calibrado	1208	54,8
MCE inicial más fundas en las patas del techo	2593	3,0

Paso F: Se establece el sistema de puntuación que se va a utilizar:

Puntuación	Incremento en el potencial de reducción de las emisiones (Eficiencia de la MCE)
1	De 0 a < 20 %
2	De 20 a < 40 %
3	De 40 a < 60 %
4	De 60 a < 80 %
5	> 80 %

Obsérvese que, dado que los incrementos de eficiencia están bien separados del 0 al 100 %, se utiliza un sistema de puntuación proporcional (es decir, en tramos del 20 %).

Paso G: La tabla completa con los incrementos en el potencial de reducción de las emisiones se muestra en el **paso K**.

Paso H: Las puntuaciones correspondientes a las cuestiones operativas de las MCE son las mismas que en el **paso 9**.

Paso J: El CAPEX y el OPEX de las MCE son los mismos de los **pasos 10 y 13**. También se utilizan los mismos sistemas de puntuación.

Paso K: La tabla completa de la segunda ronda de evaluación se muestra en Tabla .

Paso L: La combinación de MCE con la puntuación total más alta corresponde a la junta primaria de contacto líquido más una junta secundaria periférica y camisa en el pozo fijo.

Por lo tanto, el resultado de la segunda ronda de evaluación de las MCE para este tanque es que debería cambiarse la junta de contacto gaseoso por una primaria de contacto líquido más una junta periférica secundaria y una camisa sobre el pozo de medida calibrado.

Podría realizarse una nueva ronda de evaluación si se considerara necesario con las MCE que hayan obtenido puntuaciones totales medias o altas en relación con las obtenidas por la combinación de MCE de la segunda ronda (es decir, pozo fijo con flotador y fundas en las patas del techo).

Al final, cuando ninguna combinación de MCE cumpla los criterios de MTD, deberá comenzarse de nuevo el proceso cambiando los datos básicos, es decir, reduciendo las existencias que se van a almacenar o cambiando el método de almacenamiento.

8.13.2. Caso de estudio número 2: TTF nuevo

Tipo de tanque: Un TTF nuevo en el que se almacena nafta ligera a una presión de vapor Reid de 68 kPa.

Ubicación: Sur de Europa – media anual de temperatura 20 °C, media anual de radiación solar 175 W/m².

Detalles:

- techo cónico, cuerpo soldado;
- dimensiones: diámetro 33 m, altura 12 m, capacidad 10 263 m³;
- Renovaciones: 12 veces al año de media.

Caso de estudio 2 - Evaluación de la MCE inicial

Paso 1: Se hace una estimación de las emisiones. En el siguiente ejemplo, se ha utilizado el software US EPA Tanks 4.

El caso básico para un TTF es un tanque pintado de color gris medio con orificios de venteo.

a) Emisiones del caso básico = 31 8856 kg/año

Pasos 2 y 3: No es necesario porque el tanque es nuevo.

Paso 4: Las fuentes de emisión con una puntuación de 3 o más se indican en la Tabla 3.10 Las MCE para controlar estas emisiones se muestran en la ficha del anexo, en Tabla 8.7.

Las MCE que se tienen que tener en cuenta para controlar las emisiones son las siguientes:

- Pintar el cuerpo del tanque de blanco;
- Instalar válvula de seguridad (VSPV);
- Cambiar la presión del tanque a 56 mbar;
- Instalar un TFI sólo con una junta primaria;
- Instalar un TFI con una junta secundaria.

El efecto de estas MCE puede determinarse utilizando el software Tanks 4. Además,

- compensar el vapor,
- conectar a un tanque de retención del vapor (TRV),
- conectar a una unidad de recuperación de vapor (URV),

se identifican también como MCE. Sus efectos tendrán que determinarse a partir de las estimaciones de las emisiones, las especificaciones de los sistemas y el asesoramiento de los ingenieros.

Pasos 5 y 6: A continuación se presentan los resultados de la estimación de las emisiones y los cálculos realizados de la eficiencia en la reducción de las mismas.

Caso	Total de emisiones (kg)	Eficiencia de las MCE (%)
Básico	318 856	0
Caso básico cambiando el color de la pintura del tanque a blanco	174 750	45,2
Caso básico con válvula de seguridad	302 660	5,1
Caso básico cambiando la presión del tanque a 56 mbar	280 320	12,1
Caso básico con TFI equipado con zapata mecánica primaria de cierre	10 945	96,6
Caso básico con TFI equipado con junta primaria de contacto gaseoso	11 489	96,4
Caso básico con TFI equipado con junta primaria de contacto líquido	8410	97,4

Caso básico con junta primaria más junta periférica secundaria	7806	97,6
Caso básico con compensación del vapor (suponiendo un 80 % de reducción de las emisiones de llenado)	176 398	44,7
Caso básico con tanque de retención del vapor (TRV)	178 073	44,2
Caso básico con URV (suponiendo una eficiencia del 98 %)	6377	98,0
Caso básico con URV y TRV	3561	98,9

Paso 7: Se establece el sistema de puntuación que se va a utilizar:

Puntuación	Potencial de reducción de las emisiones (Eficiencia de la MCE)
1	De 0 a < 75 %
2	De 75 a < 85 %
3	De 85 a < 95 %
4	De 95 a < 99 %
5	De 99 a < 100 %

Paso 8: Las puntuaciones de las MCE son las siguientes:

MCE	Puntuación del potencial de reducción de las emisiones
Caso básico cambiando el color de la pintura del tanque a blanco	1
Caso básico con válvula de seguridad	1
Caso básico cambiando la presión del tanque a 56 mbar	1
Caso básico con compensación del vapor	1
Caso básico con un TRV	1
Caso básico con una URV	4
Caso básico con un TFI equipado con junta primaria	4
Caso básico con un TFI equipado con junta secundaria	4

Paso 9: De acuerdo con la información que se ofrece en el capítulo 4 y el asesoramiento de los ingenieros, las puntuaciones correspondientes a las cuestiones operativas serían las siguientes:

MCE	Facilidad de manipulación	Aplicabilidad	Seguridad	Residuos, etc.
Color de la pintura del cuerpo	5	4	5	3
Válvula de seguridad	3	3	4	5
Cambiar la presión a 56 mbar	5	1	5	4
Compensar el vapor	3	2	1	4
TRV	3	5	4	5
URV	1	5	1	1
TFI con junta primaria	4	5	2	5
TFI con junta secundaria	4	4	2	5

Paso 10: Se determina el coste de incorporar estas MCE. Dicho coste estaría entre 1500 y 650 000 €.

Paso 11: Se establece el sistema de puntuación que se va a utilizar:

Puntuación	CAPEX (EUR)
5	< 5000
4	De 5000 a < 25 000
3	De 25 000 a < 125 000
2	De 125 000 a < 625 000
1	Igual o > 625 000

Observe que no se ha utilizado un sistema proporcional, ya que no habría permitido diferenciar las MCE con un coste inferior a 125 000 € (si se divide 625 000 en 5 tramos).

Paso 12: La tabla de evaluación completa se muestra en el **paso 15**.

Paso 13: Los datos correspondientes a los gastos operativos de las MCE se calculan a diez años vista. Así, el OPEX estaría entre 500 y 20 000 €.

Paso 14: Se establece el sistema de puntuación que se va a utilizar:

Puntuación	OPEX (EUR)
5	< 5000
4	De 5000 a < 10 000
3	De 10 000 a < 15 000
2	De 15 000 a < 20 000
1	Igual o > 20 000

Pasos 15 y 16: La tabla de evaluación completa se muestra en Tabla 8.25.

Paso 17: La MCE con la puntuación total más alta corresponde al TFI con junta primaria.

Por lo tanto, el resultado de la evaluación inicial de las MCE para este tanque es que debería equiparse el tanque con una plataforma flotante interna, la MCE inicial.

Podría realizarse una segunda ronda de evaluación. Sólo hay una MCE (junta secundaria) que tenga una puntuación total alta en comparación con la MCE inicial. Cambiar el color de la pintura tiene una puntuación media. Estas dos MCE se reevaluarían utilizando la metodología indicada anteriormente partiendo de la MCE inicial.

Al final, cuando ninguna combinación de MCE cumpla los criterios de MTD, deberá comenzarse de nuevo el proceso cambiando los datos básicos, es decir, reduciendo las existencias que se van a almacenar o cambiando el método de almacenamiento.

8.13.3. Caso de estudio número 2a: TTF nuevo

Tipo de tanque: igual que en el caso de estudio 2, pero con un TTF, en el que se almacena nafta ligera y que se utilizará para almacenamiento estratégico (el tanque estará siempre lleno, sin renovaciones).

Ubicación: Sur de Europa – media anual de temperatura 20 °C, media anual de radiación solar 175 W/m².

Detalles:

- techo cónico, cuerpo soldado;
- dimensiones: diámetro 33 m, altura 12 m, capacidad 10 263 m³;
- Renovaciones: cero al año.

Caso de estudio 2a - Evaluación de la MCE inicial

Paso 1: Se hace una estimación de las emisiones. En el siguiente ejemplo, se ha utilizado el software US EPA Tanks 4.

El caso básico para un TTF es un tanque pintado de color gris medio con orificios de venteo.

a) Emisiones del caso básico = 74 790 kg/año

Pasos 2 y 3: No es necesario porque el tanque es nuevo.

Paso 4: Las fuentes de emisión con una puntuación de 3 o más se indican en la tabla 3.10. Las MCE para controlar estas emisiones se muestran en la ficha del anexo, en Tabla 8.7.

Las MCE que se tienen que tener en cuenta para controlar las emisiones son las siguientes:

- Pintar el cuerpo del tanque de blanco;
- Instalar válvula de seguridad (VSPV);
- Cambiar la presión del tanque a 56 mbar;
- Instalar un TFI sólo con junta primaria;
- Instalar un TFI con junta secundaria.

El efecto de estas MCE puede determinarse utilizando el software Tanks 4. Además,

- conectar a un tanque de retención del vapor (TRV),
- conectar a una unidad de recuperación de vapor (URV),

se identifican también como MCE. Sus efectos tendrán que determinarse a partir de las estimaciones de las emisiones, las especificaciones de los sistemas y el asesoramiento de los ingenieros. Obsérvese que no se ha planteado la compensación del vapor, ya que el tanque se utiliza para almacenamiento estratégico.

Pasos 5 y 6: A continuación se presentan los resultados de la estimación de las emisiones y los cálculos realizados de la eficiencia en la reducción de las mismas.

Caso	Total de emisiones (kg)	Eficiencia de las MCE (%)
Básico	74 790	0
Caso básico cambiando el color de la pintura del tanque a blanco	13 216	82,3
Caso básico con válvula de seguridad	66 186	9,2
Caso básico cambiando la presión del tanque a 56 mbar	54 318	27,4
Caso básico con TFI equipado con zapata mecánica primaria de cierre	10 917	85,4
Caso básico con TFI equipado con junta primaria de contacto gaseoso	11 461	84,7
Caso básico con TFI equipado con junta primaria de contacto gaseoso	8382	88,8
Caso básico con junta primaria más junta periférica secundaria	7778	89,6
Caso básico con tanque de retención del vapor (TRV)	0	100,0
Caso básico con URV (suponiendo una eficiencia del 98 %)	1496	98,0
Caso básico con URV y TRV	0	100,0

Paso 7: Se establece el sistema de puntuación que se va a utilizar:

Puntuación	Potencial de reducción de las emisiones (Eficiencia de la MCE)
1	De 0 a < 75 %
2	De 75 a < 85 %
3	De 85 a < 95 %
4	De 95 a < 99 %
5	De 99 a < 100 %

Paso 8: Las puntuaciones de las MCE son las siguientes:

MCE	Puntuación del potencial de reducción de las emisiones
Caso básico cambiando el color de la pintura del tanque a blanco	2
Caso básico con válvula de seguridad	1
Caso básico cambiando la presión del tanque a 56 mbar	1
Caso básico con un TRV	5
Caso básico con una URV	4
Caso básico con un TFI equipado con junta primaria	3
Caso básico con un TFI equipado con junta secundaria	3

Paso 9: De acuerdo con la información que se ofrece en el capítulo 4 y el asesoramiento de los ingenieros, las puntuaciones correspondientes a las cuestiones operativas serían las siguientes:

MCE	Facilidad de manipulación	Aplicabilidad	Seguridad	Residuos, etc.
Color de la pintura del cuerpo	5	4	5	3
Válvula de seguridad	3	3	4	5
Cambiar la presión a 56 mbar	5	1	5	4
TRV	3	5	4	5
URV	1	5	1	1
TFI con junta primaria	4	5	2	5
TFI con junta secundaria	4	4	2	5

Paso 10: Se determina el coste de incorporar estas MCE. Dicho coste estaría entre 1500 y 650 000 €.

Paso 11: Se establece el sistema de puntuación que se va a utilizar:

Puntuación	CAPEX (EUR)
5	< 5000
4	De 5000 a < 25 000
3	De 25 000 a < 125 000
2	De 125 000 a < 625 000
1	Igual o > 625 000

Obsérvese que no se ha utilizado un sistema proporcional, ya que no habría permitido diferenciar las MCE con un coste inferior a 125 000 € (si se divide 625 000 en 5 tramos).

Paso 12: La tabla de evaluación completa se muestra en el **paso 15**.

Paso 13: Los datos correspondientes a los gastos operativos de las MCE se calculan a diez años vista. Así, el OPEX estaría entre 500 y 20 000 €.

Paso 14: Se establece el sistema de puntuación que se va a utilizar:

Puntuación	OPEX (EUR)
5	< 5000
4	De 5000 a < 10 000
3	De 10 000 a < 15 000
2	De 15 000 a < 20 000
1	Igual o > 20 000

Pasos 15 y 16: La tabla de evaluación completa se muestra en Tabla 8.26.

Paso 17: La MCE con la puntuación total más alta corresponde al cambio de color de la pintura del cuerpo y del techo.

Por lo tanto, el resultado de la evaluación inicial de las MCE para este tanque es que debería pintarse de blanco, la MCE inicial.

Podría realizarse una segunda ronda de evaluación. Sólo hay dos MCE (TFI con y sin un junta secundaria) que tengan una puntuación total alta en comparación con la MCE inicial. Estas dos MCE se reevaluarían utilizando la metodología indicada anteriormente partiendo de la MCE inicial.

Al final, cuando ninguna combinación de MCE cumpla los criterios de MTD, deberá comenzarse de nuevo el proceso cambiando los datos básicos, es decir, reduciendo las existencias que se van a almacenar o cambiando el método de almacenamiento.

8.13.4. Caso de estudio número 3: TTF nuevo

Tipo de tanque: Tanque TTF nuevo de 1000 metros cúbicos de capacidad para acrilonitrilo (ACN).

Ubicación: Norte de Europa – media anual de temperatura 10 °C, media anual de radiación solar 120 W/m².

Detalles:

- TTF estándar;
- techo cónico;
- dimensiones: diámetro 12,5 m, altura 9 m, capacidad 1000 m³;
- Renovaciones: 12 veces al año de media.

Paso 1: Se hace una estimación de las emisiones. En el siguiente ejemplo, se ha utilizado el software US EPA Tanks 4.

El caso básico para un TTF es un tanque al aire libre pintado de color gris medio.

Emisiones del caso básico = 4777 kg/año

Paso 2: No es necesario porque el tanque es nuevo.

Paso 3: No es necesario porque el tanque es nuevo.

Paso 4: Las fuentes de emisión con una puntuación de 3 o más se indican en (Tabla 3.10). Las MCE para controlar estas emisiones se muestran en la ficha del anexo, en Tabla 8.7.

Las MCE que se tienen que tener en cuenta para controlar las emisiones son las siguientes:

- Pintar el tanque de color blanco;
- Instalar un escudo solar encima del tanque;
- Instalar una válvula de seguridad (P/V) en el tanque;
- Cambiar la presión del tanque a 56 mbar;
- Instalar un TFI con una junta primaria ;
- Instalar un TFI con una junta secundaria.

El efecto de estas MCE puede determinarse utilizando el software Tanks 4. Tiene que determinarse la eficacia del escudo solar para poder incorporar la reducción de la radiación solar en una metodología de estimación. Además,

- compensar el vapor,
- conectar a un tanque de retención del vapor (TRV),
- conectar a una unidad de recuperación de vapor (URV),

se identifican también como MCE. Sus efectos tendrán que determinarse a partir de las estimaciones de las emisiones, las especificaciones de los sistemas y el asesoramiento de los ingenieros.

Pasos 5 y 6: A continuación se presentan los resultados de la estimación de las emisiones y los cálculos realizados de la eficiencia en la reducción de las mismas.

Caso	Total de emisiones (kg)	Eficiencia de las MCE (%)
Básico	4777	0
Caso básico cambiando el color de la pintura del tanque a blanco	2662	44,3
Caso básico instalando un escudo solar en el tanque	2444	48,8
Caso básico con válvula de seguridad (P/V)	4161	12,9
Caso básico con válvula PV a 56 mbar	3312	30,7
Caso básico con un TFI equipado con junta primaria	300	93,7
Caso básico con junta primaria más junta periférica secundaria	172	96,4
Caso básico con compensación del vapor (suponiendo un 80 % de reducción de las emisiones de llenado)	2561	46,3
Caso básico con tanque de retención del vapor	2770	32,8
Caso básico con URV (suponiendo una eficiencia del 98 %)	96	98,0

Paso 7: Se establece el sistema de puntuación que se va a utilizar:

Puntuación	Potencial de reducción de las emisiones (Eficiencia de la MCE)
1	De 0 a < 80 %
2	De 80 a < 95 %
3	De 95 a < 98 %
4	De 98 a < 99,5 %
5	De 99,5 a < 100 %

Paso 8: En consecuencia, las puntuaciones de las MCE son las siguientes:

MCE	Puntuación del potencial de reducción de las emisiones
Color de la pintura del cuerpo	1
Válvula de seguridad (PV)	1
Cambiar la presión a 56 mbar	1
Escudo solar	1
Compensar el vapor	1
Tanque de retención del vapor	1
Unidad de recuperación de vapor	4
TFI con junta primaria	2
TFI con junta secundaria	3

Paso 9: De acuerdo con la información que se ofrece en el capítulo 4 y el asesoramiento de los ingenieros, las puntuaciones correspondientes a las cuestiones operativas serían las siguientes:

MCE	Facilidad de manipulación	Aplicabilidad	Seguridad	Residuos adicionales generados
Color de la pintura del cuerpo	5	4	5	3
Válvula de seguridad (PV)	3	4	4	5
Cambiar la presión a 56 mbar	5	4	5	4
Escudo solar	5	2	5	5
Compensar el vapor	3	2	1	4
Tanque de retención del vapor	3	1	4	5
Unidad de recuperación de vapor	1	5	1	1
TFI con junta primaria	4	5	2	5
TFI con junta secundaria	4	3	2	5

Paso 10: Se determina el coste de equipar o remodelar los tanques con estas MCE. Los costes para este ejemplo van de 1000 a 100 000 €.

Paso 11: Se establece el sistema de puntuación que se va a utilizar:

Puntuación	CAPEX (EUR)
5	< 5000
4	De 5000 a < 15 000
3	De 15 000 a < 40 000
2	De 40 000 a < 100 000
1	Igual o > 100 000

Paso 12: La tabla de **evaluación** completa se muestra en el **paso 15**.

Paso 13: Los datos correspondientes a los gastos operativos de las MCE se calculan a diez años vista. Así, el OPEX sería de un máximo de 20 000 €.

Paso 14: Se establece el sistema de puntuación que se va a utilizar:

Puntuación	OPEX (EUR)
5	< 5000
4	De 5000 a < 10 000
3	De 10 000 a < 15 000
2	De 15 000 a < 20 000
1	Igual o > 20 000

Pasos 15 y 16: La tabla de evaluación completa se muestra en Tabla 8.27.

Paso 17: La MCE con la puntuación total más alta corresponde al TFI con elemento primario de estanquidad. Sin embargo, la diferencia de puntuación entre un TFI con un elemento de estanquidad primario y otro con un elemento secundario sería muy pequeña.

De los **pasos 5 y 6** puede verse que las emisiones estimadas con esta última MCE son de 172 kg/año, comparado con los 4777 kg/año del caso básico. Esto es un 96,4 % del caso básico.

Por lo tanto, instalar un TFI con una junta primaria o secundaria se considera la MCE inicial.

Si es necesario reducir aún más las emisiones, se puede hacer una segunda ronda de evaluación de las MCE, esta vez utilizando como MCE inicial un TFI instalado en un TTF de venteo libre, equipado con una junta primaria y otra secundaria.

Al final, cuando ninguna combinación de MCE cumpla los criterios de MTD, deberá comenzarse de nuevo el proceso cambiando los datos básicos, es decir, reduciendo las existencias que se van a almacenar o cambiando el método de almacenamiento.

8.13.5. Caso de estudio número 4: TTF nuevo

Tipo de tanque: Tanque TTF nuevo de 100 metros cúbicos de capacidad para acrilonitrilo (ACN).

Ubicación: Norte de Europa – media anual de temperatura 10 °C, media anual de radiación solar 120 W/m².

Detalles:

- TTF estándar;
- techo cónico;
- dimensiones: diámetro 4 m, altura 8 m, capacidad 100 m³;
- Renovaciones: 12 veces al año de media.

Paso 1: Se hace una estimación de las emisiones. En el siguiente ejemplo, se ha utilizado el software US EPA Tanks 4.

El caso básico para un TTF es un tanque al aire libre pintado de color gris medio.

Emisiones del caso básico = 346 kg/año

Paso 2: No es necesario porque el tanque es nuevo.

Paso 3: No es necesario porque el tanque es nuevo.

Paso 4: Las fuentes de emisión con una puntuación de 3 o más se indican en la Tabla 3.10. Las MCE para controlar estas emisiones se muestran en la ficha del anexo, en Tabla 8.7.

Las MCE que se tienen que tener en cuenta para controlar las emisiones son las siguientes:

- Pintar el tanque de color blanco;
- Instalar un escudo solar encima del tanque;
- Instalar una válvula de seguridad (P/V) en el tanque;
- Cambiar la presión del tanque a 56 mbar;
- Instalar un TFI con una junta primaria;
- Instalar un TFI con una junta secundaria.

El efecto de estas MCE puede determinarse utilizando el software Tanks 4. Tiene que determinarse la eficacia del escudo solar para poder incorporar la reducción de la radiación solar en una metodología de estimación. Además,

- compensar el vapor,
- conectar a un tanque de retención del vapor (TRV),
- conectar a una unidad de recuperación de vapor (URV),

se identifican también como MCE. Sus efectos tendrán que determinarse a partir de las estimaciones de las emisiones, las especificaciones de los sistemas y el asesoramiento de los ingenieros.

Pasos 5 y 6: A continuación se presentan los resultados de la estimación de las emisiones y los cálculos realizados de la eficiencia en la reducción de las mismas.

Caso	Total de emisiones (kg)	Eficiencia de las MCE (%)
Básico	346	0
Caso básico cambiando el color de la pintura del tanque a blanco	222	36,0
Caso básico instalando un escudo solar en el tanque	194	43,8
Caso básico con válvula de seguridad	317	8,4
Caso básico con válvula PV a 56 mbar	277	20,1
Caso básico con TFI equipado con zapata mecánica primaria de cierre	128	62,9
Caso básico con TFI equipado con junta primaria más junta periférica secundaria	87	74,8
Caso básico con compensación del vapor (suponiendo un 80 % de reducción de las emisiones de llenado)	145	58,1
Caso básico con tanque de retención del vapor	251	48,2
Caso básico con URV (suponiendo una eficiencia del 98 %)	7	98

Paso 7: Se establece el sistema de puntuación que se va a utilizar:

Puntuación	Potencial de reducción de las emisiones (Eficiencia de la MCE)
1	De 0 a < 80 %
2	De 80 a < 95 %
3	De 95 a < 98 %
4	De 98 a < 99,5 %
5	De 99,5 a < 100 %

Paso 8: En consecuencia, las puntuaciones de las MCE son las siguientes:

MCE	Puntuación del potencial de reducción de las emisiones
Color de la pintura del cuerpo	1
Válvula de seguridad (PV)	1
Cambiar la presión a 56 mbar	1
Escudo solar	1
Compensar el vapor	1
Tanque de retención del vapor	1
Unidad de recuperación de vapor	4
TFI con junta primaria	1
TFI con junta secundaria	1

Paso 9: De acuerdo con la información que se ofrece en el capítulo 4 y el asesoramiento de los ingenieros, las puntuaciones correspondientes a las cuestiones operativas serían las siguientes:

MCE	Facilidad de manipulación	Aplicabilidad	Seguridad	Residuos adicionales generados
Color de la pintura del cuerpo	5	4	5	3
Válvula de seguridad (PV)	3	4	4	5
Cambiar la presión a 56 mbar	5	5	5	4
Escudo solar	5	2	5	5
Compensar el vapor	3	3	1	4
Tanque de retención del vapor	3	1	4	5
Unidad de recuperación de vapor	1	5	1	1
TFI con junta primaria	4	2	2	5
TFI con junta secundaria	4	2	2	5

Paso 10: Se determina el coste de equipar o remodelar los tanques con estas MCE. Los costes para este ejemplo van de 500 a 50 000 €.

Paso 11: Se establece el sistema de puntuación que se va a utilizar:

Puntuación	CAPEX (EUR)
5	< 2500
4	De 2500 a < 7500
3	De 7500 a < 20 000
2	De 20 000 a < 50 000
1	Igual o > 50 000

Paso 12: La tabla de evaluación completa se muestra en el **paso 15**.

Paso 13: Los datos correspondientes a los gastos operativos de las MCE se calculan a diez años vista. Así, el OPEX estaría entre 0 y 10 000 €.

Paso 14: Se establece el sistema de puntuación que se va a utilizar:

Puntuación	OPEX (EUR)
5	< 2500
4	De 2500 a < 5000
3	De 5000 a < 75 000
2	De 7500 a < 10 000
1	Igual o > 10 000

Pasos 15 y 16: La tabla de evaluación completa se muestra en Tabla 8.28.

Paso 17: La MCE con la puntuación total más alta es una válvula de seguridad (PV) (a 20 mbar), seguida de cerca por el cambio de la presión a 56 mbar.

De los **pasos 5 y 6** puede verse que las emisiones estimadas con esta última MCE son de 277 kg/año, comparado con los 346 kg/año del caso básico. Esto es un 20,1 % del caso no controlado.

Aumentar la presión nominal del nuevo tanque a 56 mbar se considera la MCE inicial.

Si es necesario reducir aún más las emisiones, se puede hacer una segunda ronda de evaluación de las MCE, esta vez utilizando como MCE inicial una válvula PV regulada a 56 mbar e instalada en un TTF.

Al final, cuando ninguna combinación de MCE cumpla los criterios de MTD, deberá comenzarse de nuevo el proceso cambiando los datos básicos, es decir, reduciendo las existencias que se van a almacenar o cambiando el método de almacenamiento.

Tabla 8.23: Caso de estudio número 1 - Evaluación inicial de las MCE.

Técnica	Potencial de reducción de las emisiones	Facilidad de manipulación	Aplicabilidad	Seguridad	Residuos, energía, efectos cruzados	Puntuación operativa (B+C+D+E)	Puntuación CAPEX (remodelación)	Puntuación OPEX	Puntuación financiera REMODELACIÓN	Puntuación total REMODELACIÓN
	A	B	C	D		$O = A * (B+C+D+E)$	F	H	$Cr = F * H$	$OS = O * Cr$
Instrumentación	1	5	5	5	5	20	4	3	12	240
Color cuerpo/techo	1	5	4	5	3	17	3	5	15	255
Techo abovedado	4	2	2	1	4	36	1	3	3	108
Junta primaria con zapata mecánica	2	5	5	4	5	38	3	4	12	456
Junta primaria de contacto líquido (L)	3	5	5	4	5	57	3	4	12	684
Primario L + junta secundaria	4	4	5	4	5	72	3	4	12	864
Pozo fijo con flotador	1	2	5	4	5	16	5	4	20	320
Pozo fijo con camisa	1	4	5	4	5	18	5	4	20	360
Patas del techo con fundas	1	5	5	4	5	19	5	5	25	475

Tabla 8.24: Caso de estudio 1 - Segunda ronda de evaluación de las MCE.

Técnica	Incremento en el potencial de reducción de las emisiones	Facilidad de manipulación	Aplicabilidad	Seguridad	Residuos, energía, efectos cruzados	Puntuación operativa (B+C+D+E)	Puntuación CAPEX (remodelación)	Puntuación OPEX	Puntuación financiera REMODELACIÓN	Puntuación total REMODELACIÓN
	A	B	C	D	E	$O = A * (B+C+D+E)$	F	H	$Cr = F * H$	$OS = O * Cr$
MCE inicial + Color cuerpo/techo	1	5	4	5	3	17	3	5	15	255
MCE inicial + Techo abovedado	4	2	2	1	4	36	1	3	3	108
MCE inicial + pozo fijo con flotador	2	2	5	4	5	32	5	4	20	640
MCE inicial + pozo fijo con camisa	3	4	5	4	5	54	5	4	20	1080
MCE inicial + patas del techo con fundas	1	5	5	4	5	19	5	5	25	475

Tabla 8.25: Caso de estudio número 2 - Evaluación de la MCE inicial.

Técnica	Potencial de reducción de las emisiones	Facilidad de manipulación	Aplicabilidad	Seguridad	Residuos, energía, efectos cruzados	Puntuación operativa (B+C+D+E)	Puntuación CAPEX (nuevo)	Puntuación OPEX	Puntuación financiera NUEVO	Puntuación total NUEVO
	A	B	C	D	E	O = A *	F	H	Cn = F*H	OS = O*Cn
Color de la pintura del cuerpo	1	5	4	5	3	17	5	5	25	425
Válvula PV	1	3	3	4	5	15	3	5	15	225
Cambiar presión a 56 mbar	1	5	1	5	4	15	4	5	20	300
Compensar el vapor	1	3	2	1	4	10	3	5	15	150
Tanque de retención del vapor	1	3	5	4	5	17	2	3	6	102
Unidad de recuperación de vapor	4	1	5	1	1	32	1	1	1	32
TFI con junta primaria	4	4	5	2	5	64	3	5	15	960
TFI con junta secundaria	4	4	4	2	5	60	3	5	15	900

Tabla 8.26: Caso de estudio número 2a - Evaluación de la MCE inicial.

Técnica	Potencial de reducción de las emisiones	Facilidad de manipulación	Aplicabilidad	Seguridad	Residuos, energía, efectos cruzados	Puntuación operativa (B+C+D+E)	Puntuación CAPEX (nuevo)	Puntuación OPEX	Puntuación financiera NUEVO	Puntuación total NUEVO
	A	B	C	D	E	O = A *	F	H	Cn = F*H	OS = O*Cn
Color de la pintura del cuerpo	2	5	4	5	3	34	5	5	25	850
Válvula PV	1	3	3	4	5	15	3	5	15	225
Cambiar presión a 56 mbar	1	5	1	5	4	15	4	5	20	300
Tanque de retención del vapor	5	3	5	4	5	85	2	3	6	510
Unidad de recuperación de vapor	4	1	5	1	1	32	1	1	1	32
TFI con junta primaria	3	4	5	2	5	48	3	5	15	720
TFI con junta secundaria	3	4	4	2	5	45	3	5	15	675

Tabla 8.27: Caso de estudio número 3 - Evaluación de la MCE inicial.

Técnica	Potencial de reducción de las emisiones	Facilidad de manipulación	Aplicabilidad	Seguridad	Residuos, energía, efectos cruzados	Puntuación operativa (B+C+D+E)	Puntuación CAPEX (nuevo)	Puntuación OPEX	Puntuación financiera NUEVO	Puntuación total OS = O * Cn
	A	B	C	D	E	O=A * (B+C+D+E)	F	H	Cn = F*H	OS = O * Cn
Color de la pintura del cuerpo	1	5	4	5	3	17	5	5	25	425
Válvula de seguridad (PV)	1	3	4	4	5	16	5	5	25	400
Cambiar la presión a 56 mbar	1	5	5	5	4	18	5	5	25	450
Escudo solar	1	5	2	5	5	17	4	5	20	340
Compensar el vapor	2	3	2	1	4	20	3	5	15	300
Tanque de retención del vapor	1	3	1	4	5	13	2	3	6	78
Unidad de recuperación de vapor	4	1	5	1	1	32	1	1	1	32
TFI con junta primaria	2	4	5	2	5	32	4	5	20	640
TFI con junta secundaria	3	4	3	2	5	42	3	5	15	630

Tabla 8.28 : Caso de estudio número 4 - Evaluación de la MCE inicial.

Técnica	Potencial de reducción de las emisiones	Facilidad de manipulación	Aplicabilidad	Seguridad	Residuos, energía, efectos cruzados	Puntuación operativa (B+C+D+E)	Puntuación CAPEX (nuevo)	Puntuación OPEX	Puntuación financiera NUEVO	Puntuación total OS = O * Cn
	A	B	C	D	E	O=A * (B+C+D+E)	F	H	Cn = F*H	OS = O * Cn
Color de la pintura del cuerpo	1	5	4	5	3	17	4	5	20	340
Válvula PV	1	3	4	4	5	16	5	5	25	400
Cambiar presión a 56 mbar	1	5	5	5	4	19	4	5	20	380
Escudo solar	1	5	2	5	5	17	4	5	20	340
Compensar el vapor	1	3	3	1	4	11	3	5	15	165
Tanque de retención del vapor	1	3	1	4	5	13	2	4	8	104
Unidad de recuperación de vapor	4	1	5	1	1	32	1	1	1	32
TFI con junta primaria	1	4	2	2	5	13	3	5	15	195
TFI con junta secundaria	1	4	2	2	5	13	3	5	15	195

8.14. Fichas de MCE para el almacenamiento de sólidos

- **Potencial de reducción de emisiones de polvo**

- ++ prevención muy alta o prácticamente total de las emisiones difusas
- + clara reducción de las emisiones difusas
- 0 no hay una reducción significativa de las emisiones difusas o no se pueden extraer conclusiones claras

- **Consumo de energía**

- + consumo de energía bajo
- 0 consumo de energía normal o no existen datos fiables al respecto
- consumo de energía alto

- **Efectos cruzados**

(por ejemplo, una mayor influencia en el ciclo hidrológico o en las aguas superficiales y freáticas, un aumento de la generación de residuos o un aumento de los niveles de contaminación acústica).

- + reducción de las emisiones de polvo sin efectos cruzados
- 0 no se observa una influencia importante o no existen datos fiables al respecto
- efecto cruzado

- **Inversión necesaria**

- + se necesita poca inversión
- nd no hay datos disponibles
- se necesita una inversión elevada

- **Costes operativos**

- + bajos
- nd no hay datos disponibles
- costes operativos elevados

Tabla 8.29: Ficha de MCE para el almacenamiento de sólidos [17, UBA, 2001]

Comentario general: [15, InfoMil, 2001]

S1 = muy sensible a la dispersión, no humectable
 S2 = muy sensible a la dispersión, humectable
 S3 = moderadamente sensible a la dispersión, no humectable
 S4 = moderadamente sensible a la dispersión, humectable
 S5 = nada o poco sensible a la dispersión

Graneles relevantes y su contenido de polvo inherente	Actividades relevantes según IPPC (n° de apéndice de la directiva IPPC)	MCE	Potencial de reducción del polvo	Consumo de energía	Efecto cruzado	Costes de inversión	Costes operativos	Referencia
Cereales • trigo: S3 • centeno: S3 • maíz: S3	6.4b	Silo	++	0	0	nd	nd	

Graneles relevantes y su contenido de polvo inherente	Actividades relevantes según IPPC (n° de apéndice de la directiva IPPC)	MCE	Potencial de reducción del polvo	Consumo de energía	Efecto cruzado	Costes de inversión	Costes operativos	Referencia
Lignito: S4	1.1/1.3/1.4/3.1/3.5	Almacenamiento al aire libre con aspersores, posiblemente con pantallas protectoras contra el viento	+	0	0	+	nd	

Negro de carbón: S4	1.1/1.3/1.4/3.1/3.5	Almacenamiento al aire libre con aspersores, posiblemente con pantallas protectoras contra el viento *)	+	0	0	+	nd
		Almacenamiento confinado	++	0	0	-	-
		Silo de gran capacidad	++	0	0	-	-

*) Nota: por cuestiones de seguridad (inflamabilidad) y calidad, para el almacenamiento de carbón a largo plazo se recomienda acumularlo en capas compactadas. En la descarga de finos de carbón (granulometría < 10 mm), es habitual cubrirlo con una capa de grava, tierra u otros materiales, o cubrirlo con una lona o rociarlo con un aglomerante.

Graneles relevantes y su contenido de polvo inherente	Actividades relevantes según IPPC (n° de apéndice de la directiva IPPC)	MCE	Potencial de reducción del polvo	Consumo de energía	Efecto cruzado	Costes de inversión	Costes operativos	Referencia
Coque: S1-S4	1.1/1.3/2.1/2.2/2.4/2.5a	Almacenamiento confinado	+	0	0	nd	nd	
S3-S4		Almacenamiento al aire libre	+	0	-	nd	nd	

Graneles relevantes y su contenido de polvo inherente	Actividades relevantes según IPPC (nº de apéndice de la directiva IPPC)	MCE	Potencial de reducción del polvo	Consumo de energía	Efecto cruzado	Costes de inversión	Costes operativos	Referencia
Minerales de hierro y concentrados <ul style="list-style-type: none"> • gránulos: S5 • roca mineral: S5 • polvo mineral: S4-S5 	2.1/2.2	Almacenamiento al aire libre con aspersores, posiblemente con pantallas protectoras contra el viento	+	0	0	+	+	
Mineral de cobre y concentrados: S4	2.5a	Almacenamiento confiado	++	+	+	nd	nd	
Otros minerales no féreos y concentrados: S2-S5	2.5a/2.5b	Almacenamiento al aire libre y aspersión con una suspensión de caliza	0	+	0	nd	nd	
		Almacenamiento confinado en naves	++	+	+	nd	nd	

Graneles relevantes y su contenido de polvo inherente	Actividades relevantes según IPPC (nº de apéndice de la directiva de la directiva IPPC)	MCE	Potencial de reducción del polvo	Consumo de energía	Efecto cruzado	Costes de inversión	Costes operativos	Referencia
Yeso: S4	1.1/3.1/3.3/3.5/4.3	Silo de gran capacidad	++	+	+	-	nd	
		Depósito	++	+	+	nd	+	
		Almacenamiento al aire libre	+	+	0	+	+	
		Hangar/cubierta	++	0	+	-	nd	

Graneles relevantes y su contenido de polvo inherente	Actividades relevantes según IPPC (nº de apéndice de la directiva IPPC)	MCE	Potencial de reducción del polvo	Consumo de energía	Efecto cruzado	Costes de inversión	Costes operativos	Referencia
Abono: S1-S3	4.3							

8.15. Fichas de MCE para la manipulación de sólidos

- **Potencial de reducción de emisiones de polvo**

- ++ prevención muy alta o prácticamente total de las emisiones difusas
- + clara reducción de las emisiones difusas
- 0 no hay una reducción significativa de las emisiones difusas o no se pueden extraer conclusiones claras

- **Consumo de energía**

- + consumo de energía bajo
- 0 consumo de energía normal o no existen datos fiables al respecto
- consumo de energía alto

- **Efectos cruzados**

(por ejemplo, una mayor influencia en el ciclo hidrológico o en las aguas superficiales y freáticas, un aumento de la generación de residuos o un aumento de los niveles de contaminación acústica).

- + reducción de las emisiones de polvo sin efectos cruzados
- 0 no se observa una influencia importante o no existen datos fiables al respecto
- efecto cruzado

- **Inversión necesaria**

- + se necesita poca inversión
- nd no hay datos disponibles
- se necesita una inversión elevada

- **Costes operativos**

- + bajos
- nd no hay datos disponibles
- costes operativos elevados

Tabla 8.30: Ficha de MCE para la manipulación de sólidos
[17, UBA, 2001]

Comentario general: [15, InfoMil, 2001]

S1 = muy sensible a la dispersión, no humectable

S2 = muy sensible a la dispersión, humectable

S3 = moderadamente sensible a la dispersión, no humectable

S4 = moderadamente sensible a la dispersión, humectable

S5 = nada o poco sensible a la dispersión

Graneles relevantes y su contenido de polvo inherente	Actividades relevantes según IPPC (n° de apéndice de la directiva IPPC)	MCE	Potencial de reducción del polvo	Consumo de energía	Efecto cruzado	Costes de inversión	Costes operativos
Cereales	6.4b	Tubo de llenado con altura regulada automáticamente y cabezal de carga	++	+	0	nd	nd
		Tubo de descarga con altura regulable y deflector de polvo	+	+	0	nd	nd
		Tubo de descarga con junta cónica y detector de nivel	++	+	0	nd	nd
		Rampa en cascada	++	+	0	nd	nd
		Cucharas de baja emisión	+	0	0	+	nd
		Tolva de presión negativa	++	-	0	-	-
		Rampas cerradas con presión negativa	++	-	+	-	-
		Tornillo sin fin	++	-	0	-	+
		Transportador de cadena	+	0	0	nd	nd
		Cinta transportadora cerrada	++	0	0	nd	nd

Graneles relevantes y su contenido de polvo inherente	Actividades relevantes según IPPC (n° de apéndice de la directiva IPPC)	MCE	Potencial de reducción del polvo	Consumo de energía	Efecto cruzado	Costes de inversión	Costes operativos
Negro de carbón: S4	1.1/1.3/1.4/3.1/3.5	Tubo de llenado con altura regulable pero sin cabezal de carga	+	0	0	+	+
		Rampa en cascada	++	+	0	-	nd
		Cucharas de baja emisión	+	0	0	+	nd
		Tolva de recogida de polvo *)	++	0	0	+	-
		Elevador de cangilones	+	+	0	-	+
		Tornillo sin fin	++	-	0	-	+
		Cintas transportadoras abiertas, semienterradas y protegidas por pantallas protectoras contra el viento laterales	+	0	0	+	+
		Cinta transportadora cerrada	++	0	0	-	-
		Cinta transportadora de tubo	++	0	0	nd	nd
		Sistemas de aspersores para los puntos de transferencia de material	++	0	+	nd	+
Lignito: S4	1.1/1.3/1.4/3.1/3.5	Cinta transportadora abierta con aspersión de agua en los puntos de transferencia de material	++	0	0	nd	nd
		Cinta transportadora abierta con presión negativa en los puntos de transferencia de material	+	-	0	nd	nd
		Transportador neumático **)	++	-	0	-	+
		Chorros o pulverizadores de agua en los puntos de transferencia de material ***)	++	+	+	nd	+
		Aspersión de agua y tensioactivos en los puntos de transferencia de material ***)	++	+	-	nd	-

Graneles relevantes y su contenido de polvo inherente	Actividades relevantes según IPPC (nº de apéndice de la directiva IPPC)	MCE	Potencial de reducción del polvo	Consumo de energía	Efecto cruzado	Costes de inversión	Costes operativos
Coque: S1-S4	1.1/1.3/2.1/2.2/2.4/2.5a	Cucharas de baja emisión	+	0	0	+	nd
		Tolva de recogida de polvo *)	++	0	0	+	nd
		Cinta transportadora abierta, semienterrada y protegida por pantallas protectoras contra el viento laterales	+	0	0	nd	nd
		Cinta transportadora cerrada	++	0	0	-	nd

*) Nota: tolva de recogida de polvo significa tolvas dotadas de unas paredes laterales altas y, normalmente, equipadas con filtros de polvo.

Graneles relevantes y su contenido de polvo inherente	Actividades relevantes según IPPC (nº de apéndice de la directiva IPPC)	MCE	Potencial de reducción del polvo	Consumo de energía	Efecto cruzado	Costes de inversión	Costes operativos
Minerales de hierro y concentrados	2.1/2.2	Tubo de llenado con altura regulable pero sin cabezal de carga	+	+	0	nd	+
		Cucharas de baja emisión	+	0	0	+	nd
		Tolva de recogida de polvo *)	++	0	0	+	nd
		Elevador de cangilones	++	+	0	-	+
• gránulos: S4 • roca mineral: S4 • polvo mineral: S4		Cintas transportadoras abiertas, semienterradas y protegidas por pantallas protectoras contra el viento laterales	+	0	0	+	+
		Chorros de agua, posiblemente con aditivos en los puntos de transferencia de material en que sea necesario	++	+	0	nd	+

Mineral de cobre y concentrados: S4	2.5a	Cucharas optimizadas para controlar las emisiones	+	0	0	+	nd
		Tolva de recogida de polvo *)	++	0	0	nd	nd
Otros minerales no féreos y concentrados: S2-S4		Cinta transportadora cerrada	++	0	0	nd	nd
		Cucharas de baja emisión	+	0	0	+	nd
		Tolva de recogida de polvo *)	++	0	0	+	nd
		Cinta transportadora cerrada	++	0	0	nd	nd
		Aspersión de tensioactivos	++	+	-	nd	nd

*) Nota: tolva de recogida de polvo significa tolvas dotadas de unas paredes laterales altas y, normalmente, equipadas con filtros de polvo. No son necesarias para la manipulación de gránulos de hierro, ya que sus niveles de emisiones de polvo son casi nulos.

Graneles relevantes y su contenido de polvo inherente	Actividades relevantes según IPPC (nº de apéndice de la directiva IPPC)	MCE	Potencial de reducción del polvo	Consumo de energía	Efecto cruzado	Costes de inversión	Costes operativos
Yeso: S4	1.1/3.1/3.5/4.3	Cucharas optimizadas para controlar las emisiones	++	+	+	-	nd
		Tolva de baja emisión sin presión negativa	++	-	0	nd	-
		Tornillo sin fin	++	-	+	+	-
		Sistemas de transporte neumático	++	-	+	+	-
		Cinta transportadora de tubo	++	0	+	nd	+
		Rampa en cascada	++	+	0	-	nd
		Tubo de llenado con altura regulable y deflector de polvo	+	+	0	nd	nd
		Tubos de llenado con junta cónica y detector de nivel	++	-	0	nd	-
El elevador de cangilones							

Graneles relevantes y su contenido de polvo inherente	Actividades relevantes según IPPC (nº de apéndice de la directiva IPPC)	MCE	Potencial de reducción del polvo	Consumo de energía	Efecto cruzado	Costes de inversión	Costes operativos	
Abono: S1-S3	4.3	Cucharas optimizadas para controlar las emisiones	+	0	0	+	nd	
		Tolva de baja emisión sin presión negativa	++	+	0	+	+	
		Tornillo sin fin	-	-	0	+	nd	
		Sistemas de transporte neumático	++	-	0	+	-	
		Cinta transportadora de tubo	++	0	+	nd	+	
		Rampa en cascada	++	+	0	-	nd	
		Tubo de llenado con altura regulable y deflector de polvo	+	+	0	nd	nd	
		Tubo de llenado con junta cónica y detector de nivel	++	+	0	nd	nd	
		Elerador de cangilones						

8.16. Características de los sistemas antiincendio

Fuente: [8, CPR, 1991]

1) Sistema automático de aspersores:

- detección termostática permanente;
- puede utilizarse agua o espuma como medio de extinción;
- una superficie máxima de almacenamiento de 2500 m²;
- el sistema no necesita provisiones estructurales especiales;
- cuando se activa el sistema de extinción, sólo se rociará el área que está justo debajo de los aspersores indicados;
- no se permite utilizar sistemas de extracción del humo y del calor;
- si se almacenan líquidos (fácilmente) inflamables, sólo puede utilizarse espuma como medio de extinción.

2) Sistema automático de inundación:

- se puede utilizar cualquier método de detección;
- puede utilizarse agua o espuma (media o pesada) como medio de extinción;
- una superficie máxima de almacenamiento de 2500 m²;
- el sistema no necesita provisiones estructurales especiales;
- cuando se activa el sistema de extinción, se rociará una sección entera (el número y el tamaño dependerán del diseño). La zona rociada va determinada por el tamaño de la sección o división;
- si se almacenan líquidos (fácilmente) inflamables, sólo puede utilizarse espuma como medio de extinción.

3) Sistema automático de extinción con gas:

- se puede utilizar cualquier método de detección;
- se utilizará CO₂ como medio de extinción;
- una superficie máxima de almacenamiento de 600 m²;
- las paredes, puertas y techos del recinto de almacenamiento tienen que tener una resistencia al fuego de 30 minutos;
- no se permite utilizar sistemas de extracción del humo y del calor.

4) Cuerpo local de bomberos con sistema seco de inundación:

- se utilizará un método de detección rápido (no detección termostática permanente); también tiene que haber detección en los recintos adyacentes al de almacenamiento (en el plan técnico o de organización pueden plantearse alternativas para la detección de incendios, aunque las necesidades deberán dictaminarlas las autoridades competentes);

- puede utilizarse agua o espuma como medio de extinción;
- una superficie máxima de almacenamiento de 500 m²;
- el recinto de almacenamiento tiene que tener una resistencia al fuego de 60 minutos; si los cuerpos de bomberos locales pueden desplegarse en menos de 6 minutos, bastaría una estructura con una resistencia de 30 minutos en el caso de recintos de almacenamiento ya existentes;
- las secciones del recinto de almacenamiento no pueden tener más de 100 m² y estarán separadas mediante paredes con una resistencia al fuego de al menos 30 minutos o mediante un pasillo de al menos 3,5 metros de ancho;
- si se almacenan líquidos (fácilmente) inflamables, sólo puede utilizarse espuma como medio de extinción.

5) Sistema automático de extinción con espuma de alta expansión:

- se utilizará un método de detección rápido (no detección termostática permanente);
- como medio de extinción se utilizará espuma ligera con un factor de expansión entre 500 y 1000;
- la superficie máxima del recinto de almacenamiento es de 1500 m²;
- las paredes, puertas y techos del recinto de almacenamiento tienen que tener una resistencia al fuego de 30 minutos;
- cuando se activa el sistema, todo el recinto tiene que llenarse de espuma;
- tienen que utilizarse sistemas de extracción del humo y del calor.

6) Cuerpo de bomberos de la empresa con sistema de inundación manual:

- se utilizará un método de detección rápido (no detección termostática permanente);
- puede utilizarse agua o espuma (media o pesada) como medio de extinción;
- la superficie máxima del recinto de almacenamiento es de 2500 m²;
- las paredes, puertas y techos del recinto de almacenamiento tienen que tener una resistencia al fuego de 30 minutos;
- cuando se activa el sistema de extinción, se rociará toda la sección afectada;
- si se almacenan líquidos (fácilmente) inflamables, sólo puede utilizarse espuma como medio de extinción.

7) Cuerpo de bomberos de la empresa con sistema seco de inundación:

- se utilizará un método de detección rápido (no detección termostática permanente);
- puede utilizarse agua o espuma (media o pesada) como medio de extinción;
- la superficie máxima del recinto de almacenamiento es de 2500 m²;
- las paredes, puertas y techos del recinto de almacenamiento tienen que tener una resistencia al fuego de 30 minutos;

- cuando se activa el sistema de extinción, se rociará toda la sección afectada;
- si se almacenan líquidos (fácilmente) inflamables, sólo puede utilizarse espuma como medio de extinción.

8) Extinción *in situ* por parte del cuerpo de bomberos de la empresa (intervención interna):

- se utilizará un método de detección rápido (no detección termostática permanente);
- puede utilizarse agua o espuma (media o pesada) como medio de extinción;
- la superficie máxima del recinto de almacenamiento es de 1500 m²;
- las secciones del recinto de almacenamiento no pueden tener más de 300 m²;
- el recinto de almacenamiento tiene que tener una resistencia al fuego de 60 minutos, aunque bastaría una estructura con una resistencia de 30 minutos en el caso de recintos de almacenamiento ya existentes;
- tienen que utilizarse sistemas de extracción del humo y del calor;
- si se almacenan líquidos (fácilmente) inflamables, sólo puede utilizarse espuma como medio de extinción.

8.17. Distancias para el almacenamiento de bombonas de gas

Tabla 8.31: Distancias para el almacenamiento confinado de bombonas de gas [45, Vlaanderen]

Distancia	Grupo 1°, a)	Grupo 1°, b)	Grupo 1°, c)	Grupo 2°, a)	Grupo 2°, b)	Grupo 3°, a)	Grupo 3°, b)	Grupo 4°
Grupo 1° a	-	0	5	0	5	1) 5	1) 5	0
						2) 5	2) 5	
						3) 7,5	3) 7,5	
Grupo 1° b	0	-	5	0	5	1) 5	1) 5	0
						2) 5	2) 5	
						3) 7,5	3) 7,5	
Grupo 1° c	5	5	-	5	5	1) 5	1) 5	0
						2) 5	2) 5	
						3) 7,5	3) 7,5	
Grupo 2° a	0	0	5	-	0	0	0	0
Grupo 2° b	5	5	5	0	-	0	0	0
Grupo 3° a	1) 5	1) 5	1) 5	0	0	-	0	0
	2) 5	2) 5	2) 5					
	3) 7,5	3) 7,5	3) 7,5					
Grupo 3° b	1) 5	1) 5	1) 5	0	0	0	-	0
	2) 5	2) 5	2) 5					
	3) 7,5	3) 7,5	3) 7,5					
Grupo 4°	0	0	0	0	0	0	0	-
Distancia hasta los bordes	1) 3	7,5	7,5	7,5	7,5	2	7,5	2
	2) 5							
	3) 7,5							
Hasta las edificaciones sin fuego abierto	1) 3	5	7,5	7,5	7,5	5	7,5	2
	2) 5							
	3) 7,5							
Almacenamiento de sustancias inflamables	5	5	5	2	5	5	5	2
Almacenamiento de líquidos con un punto de ignición > 55 °C	5	5	5	2	5	5	5	2
Almacenamiento de líquidos combustibles con un punto de ignición < 55 °C	7,5	7,5	7,5	2	7,5	7,5	7,5	2
Almacenamiento de líquidos combustibles	2	2	2	0	0	0	0	0

MTD Emisiones generadas por el almacenamiento

Tanque de oxígeno líquido	1) 5	1) 5	1) 5	2	2	2	2	2
	2) 7,5	2) 7,5	2) 7,5					
	3) 7,5	3) 7,5	3) 7,5					
Tanque de nitrógeno o argón líquidos	2	2	2	2	2	2	2	2
Tanque de hidrógeno líquido	1) 5	1) 5	1) 5	2	7,5	7,5	7,5	2
	2) 7.5	2) 7.5	2) 7.5					
	3) 75	3) 7.5	3) 7.5					

Nota:

las distancias mencionadas en el punto 1) son las distancias mínimas para una capacidad de almacenamiento máxima de 1000 l.

las distancias mencionadas en el punto 2) son las distancias mínimas para una capacidad de almacenamiento entre 1000 y 5000 l.

las distancias mencionadas en el punto 3) son las distancias mínimas para una capacidad de almacenamiento de más de 5000 l.

Estas capacidades de almacenamiento son relativas al grupo de gases en cuestión, y no a la capacidad de almacenamiento.

Tabla 8.32: Distancias para el almacenamiento al aire libre de bombonas de gas [45, Vlaanderen]

Distancia	Grupo 1º, a)	Grupo 1º, b)	Grupo 1º, c)	Grupo 2º, a)	Grupo 2º, b)	Grupo 3º, a)	Grupo 3º, b)	Grupo 4º
Grupo 1º a	-	0	5	0	5	1) 2	1) 5	0
						2) 5	2) 5	
						3) 7,5	3) 7,5	
Grupo 1º b	0	-	5	0	5	1) 2	1) 5	0
						2) 5	2) 5	
						3) 7,5	3) 7,5	
Grupo 1º c	5	5	-	5	5	1) 2	1) 5	0
						2) 5	2) 5	
						3) 7,5	3) 7,5	
Grupo 2º a	0	0	5	-	0	0	0	0
Grupo 2º b	5	5	5	0	-	0	0	0
Grupo 3º a	1) 2	1) 2	1) 2	0	0	-	0	0
	2) 5	2) 5	2) 5					
	3) 7,5	3) 7,5	3) 7,5					
Grupo 3º b	1) 5	1) 5	1) 5	0	0	0	-	0
	2) 5	2) 5	2) 5					
	3) 7,5	3) 7,5	3) 7,5					
Grupo 4º	0	0	0	0	0	0	0	-
Distancia hasta los bordes	1) 3	7,5	7,5	7,5	7,5	2	7,5	2
	2) 5							
	3) 7,5							
Hasta las edificaciones sin fuego abierto	1) 3	5	7,5	7,5	7,5	5	7,5	2
	2) 5							
	3) 7,5							
Almacenamiento de sustancias inflamables	5	5	5	2	5	5	5	2
Almacenamiento de líquidos con un punto de ignición > 55 °C	5	5	5	2	5	5	5	2
Almacenamiento de líquidos combustibles con un punto de ignición < 55 °C	7,5	7,5	7,5	2	7,5	7,5	7,5	2
Almacenamiento de líquidos combustibles	2	2	2	0	0	0	0	0

MTD Emisiones generadas por el almacenamiento

Tanque de oxígeno líquido	1) 5	1) 5	1) 5	2	2	2	2	2
	2) 7,5	2) 7,5	2) 7,5					
	3) 7,5	3) 7,5	3) 7,5					
Tanque de nitrógeno o argón líquidos	2	2	2	2	2	2	2	2
Tanque de hidrógeno líquido	1) 5	1) 5	1) 5	2	7,5	7,5	7,5	2
	2) 7.5	2) 7.5	2) 7.5					
	3) 7.5	3) 7.5	3) 7.5					

Nota:

las distancias mencionadas en el punto 1) son las distancias mínimas para una capacidad de almacenamiento máxima de 1000 l.

las distancias mencionadas en el punto 2) son las distancias mínimas para una capacidad de almacenamiento entre 1000 y 5000 l.

las distancias mencionadas en el punto 3) son las distancias mínimas para una capacidad de almacenamiento de más de 5000 l.

Estas capacidades de almacenamiento son relativas al grupo de gases en cuestión, y no a la capacidad de almacenamiento.

Tabla 8.33: Distancias aplicadas en los Países Bajos para el almacenamiento en superficie de K_1 , K_2 , K_3 y crudo [3, CPR, 1984]

K_1 , K_2 y crudo	Tanques de techo flotante								Tanques de techo fijo
	10 – 40	41 – 60	61 – 80	81 – 100	101 – 180	181 – 240	10 – 40		
Capacidad de almacenamiento en 1000 m ³									
Capacidad de contención comparada con la capacidad de almacenamiento	%	%	%	%	%	%	%	%	
1 tanque	100	100	100	100	100	100	100	100	
2 tanques	80	80	80	80	80	80	80	80	
3 tanques	70	80	80	80	80	80	80	70	
4 tanques o más	60	80	80	80	80	80	80	70	
Capacidad de contención del bancal: capacidad del tanque de mayor tamaño + 10 % de los demás tanques que hay en el mismo bancal. Máximo 4 tanques con una capacidad total de 60 000 m ³ o un tanque con una capacidad superior a 60 000 m ³ (techo flotante) en un bancal. Distancia mínima desde un tanque a la base del bancal o muro:	2 m	2,5 m	3 m	4 m	5 m	6 m	6 m	2 m	
Distancia mínima desde un tanque a otro tanque, o K_2 con contención independiente.	$\frac{1}{2} D$	$\frac{1}{2} D$	$\frac{1}{2} D$	$\frac{1}{2} D$	$\frac{1}{2} D$	$\frac{1}{2} D$	$\frac{1}{2} D$	$\frac{1}{2} D$	
Distancia mínima desde un tanque dentro de la misma contención: $\frac{1}{2} D$, mínimo 6 m.	6 m	10 m	15 m	17,5 m	20 m	25 m	25 m	6 m	
K_3									
Distancia mínima de un tanque K_3 a otro tanque K_3 en la misma contención: 1/3 D									
Distancia mínima de un tanque K_3 a otro tanque K_3 en otra contención: $\frac{1}{4} D$ o 3 – 13 m.									

Nota: K_0 : categoría de líquidos inflamables con una presión de vapor de 1 bar o más a 37,8 °C.
 K_1 : categoría de líquidos inflamables, no K_0 , con un punto de inflamación (determinado con un instrumento Abel-Pensky) inferior a 21 °C a 1 bar.

K_2 : categoría de líquidos inflamables con un punto de inflamación (determinado con un instrumento Abel-Pensky) inferior a 55 °C pero no inferior a 21 °C a 1 bar.

K_3 : categoría de líquidos inflamables con un punto de inflamación (determinado con un instrumento Abel-Pensky) igual o superior a 55 °C pero no superior a 100 °C a 1 bar.

Tabla 8.34: Distancias aplicadas en el Reino Unido para el almacenamiento en superficie de líquidos inflamables en tanques de gran tamaño [37, HSE, 1998]

Factor	Separación mínima desde cualquier parte del tanque
Entre tanques de techo fijo adyacentes	Igual al menor de los siguientes valores: el diámetro del tanque más pequeño, la mitad del diámetro del tanque más grande, 15 m, pero no menos de 10 m.
Entre tanques de techo flotante adyacentes	10 m para tanques con un diámetro igual o inferior a 45 m, 15 m para tanques de más de 45 m de diámetro. La separación está determinada por las dimensiones del tanque más grande.
Entre un tanque de techo flotante y un tanque de techo fijo	Igual al menor de los siguientes valores: el diámetro del tanque más pequeño, la mitad del diámetro del tanque más grande, 15 m, pero no menos de 10 m.
Entre un grupo de tanques pequeños y cualquier otro tanque que no pertenezca a este grupo	15 m
Entre un tanque y las lindes de la planta, cualquier área designada como no peligrosa, la zona de procesamiento o cualquier fuente de ignición fija	15 m

8.19. Lista típica de puntos que hay que tener en cuenta en el diseño de tanques para el almacenamiento de productos en una planta química

Propiedades físicas de mayor interés

- En condiciones ambientales estándar - gas/líquido/sólido
- Punto de ebullición normal - °C
- Punto de congelación - °C
- Presión de vapor en condiciones ambientales estándar - kPa
- Estado en las condiciones de almacenamiento - gas/líquido/sólido/posible cambio de estado
- Condiciones de almacenamiento posibles - presión: atmosférica/otra
- temperatura: ambiente/otra
- Casos especiales - por ejemplo, se necesita enfriar, calentar, etc.
- Propiedades higroscópicas - debe evitarse el contacto con la humedad

Propiedades peligrosas de mayor interés

- Inflamabilidad - límites de explosividad/punto de inflamación
- Estabilidad química - deben añadirse estabilizadores
- efectos de la temperatura
- Compatibilidad con los agentes habituales - aire, agua, materiales de construcción habituales
- Corrosividad - materiales recomendados o que hay que evitar a la temperatura de almacenamiento
- Toxicidad aguda en humanos - para datos cualitativos suficientes en humanos (p. ej. valores MAC)
- Toxicidad a largo plazo en humanos - para datos cualitativos suficientes en humanos (p. ej. valores MAC)

Aspectos cualitativos del producto

- Tipo de almacenamiento
 - específico
 - multiproducto/con o sin incompatibilidades
- Destino del producto que no cumple las especificaciones
 - si está presente en el almacenamiento
 - si se devuelve una vez expedido
- Riesgo de contaminación del producto
 - debido al sistema de recolección del venteo
 - debido a los recipientes móviles
 - debido a las líneas de transporte
- Operaciones especiales necesarias
 - filtrado, drenaje de subproductos no deseados, mezcla, etc.

Existencias (aspectos comerciales)

- Total de existencias
 - en volumen, en masa, en semanas de producción, renovaciones anuales
- Número de tanques
 - cómo afrontar las inspecciones obligatorias

Primera selección del método de almacenamiento

- En cualquier caso
 - presión y temperatura operativas
 - materiales de construcción
 - volumen por unidad
 - volumen total
- Método de almacenamiento que plantea inconvenientes
 - lista/motivos principales
- Métodos de almacenamiento a tener en cuenta
 - lista/motivos principales

Problemas ambientales de cada método de almacenamiento

- En las aguas superficiales
- En las aguas subterráneas
- Residuos

Análisis de las MCE aplicables a cada método de almacenamiento

- Prevención de la contaminación atmosférica
 - combinación de MCE recomendada

- Prevención de la contaminación de las aguas superficiales - combinación de MCE recomendada
- Prevención de la contaminación de las aguas subterráneas - combinación de MCE recomendada
- Prevención de la generación de residuos - combinación de MCE recomendada
- Incompatibilidades entre las diferentes combinaciones
- Efectos cruzados
- Cuestiones económicas

Soluciones consideradas satisfactorias

- Experiencia industrial - con el mismo producto o uno muy similar
- Cumplimiento de las normativas
- Coste

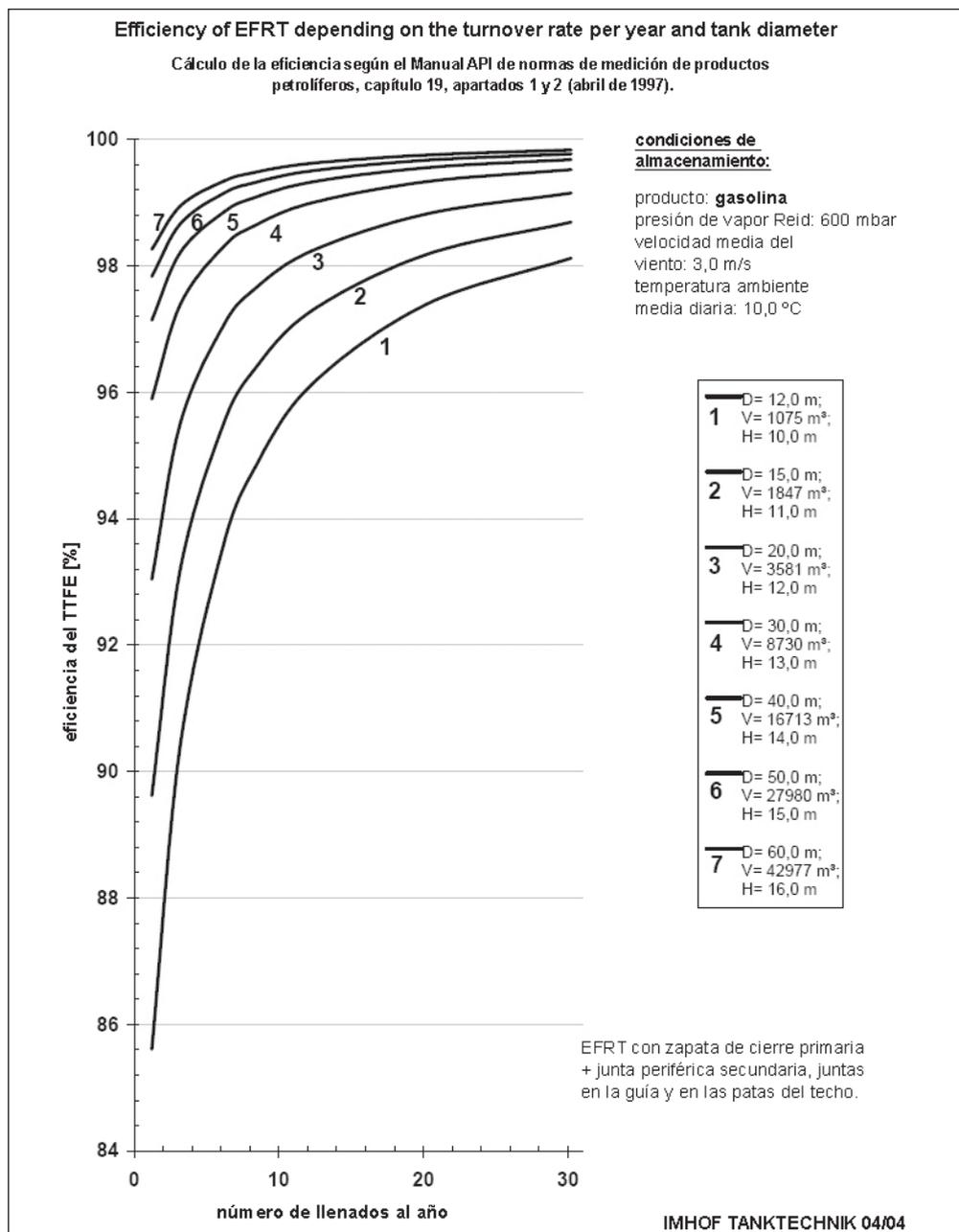
Selección de soluciones que hay que desarrollar

Perfeccionamiento del diseño para hacer frente a las demás propiedades peligrosas, cuando corresponda

Solución definitiva:

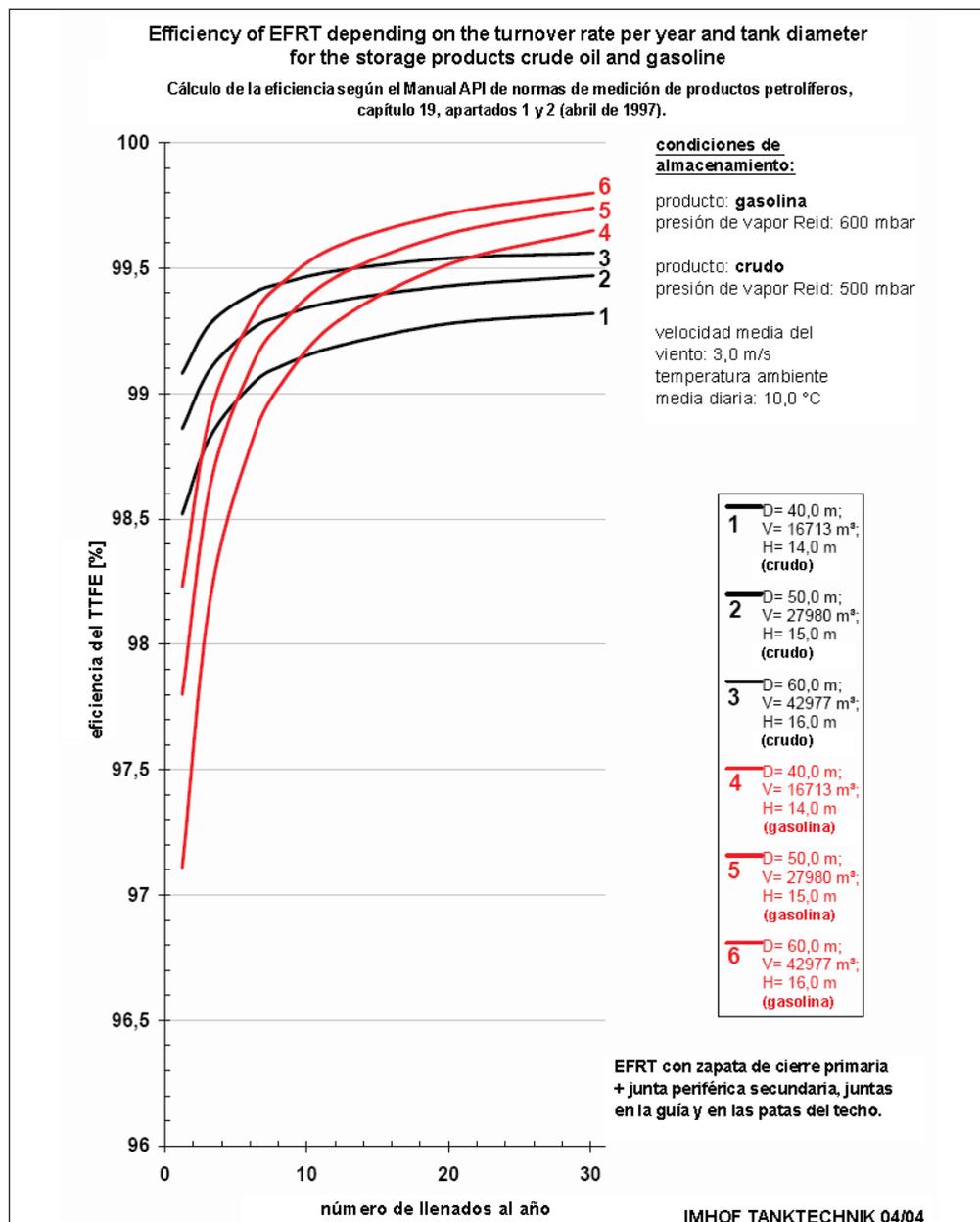
- Diseño
- Comportamiento medioambiental
- Coste

8.20. Eficiencia de un TTFE dependiendo del número de ciclos de llenado por año y tanque



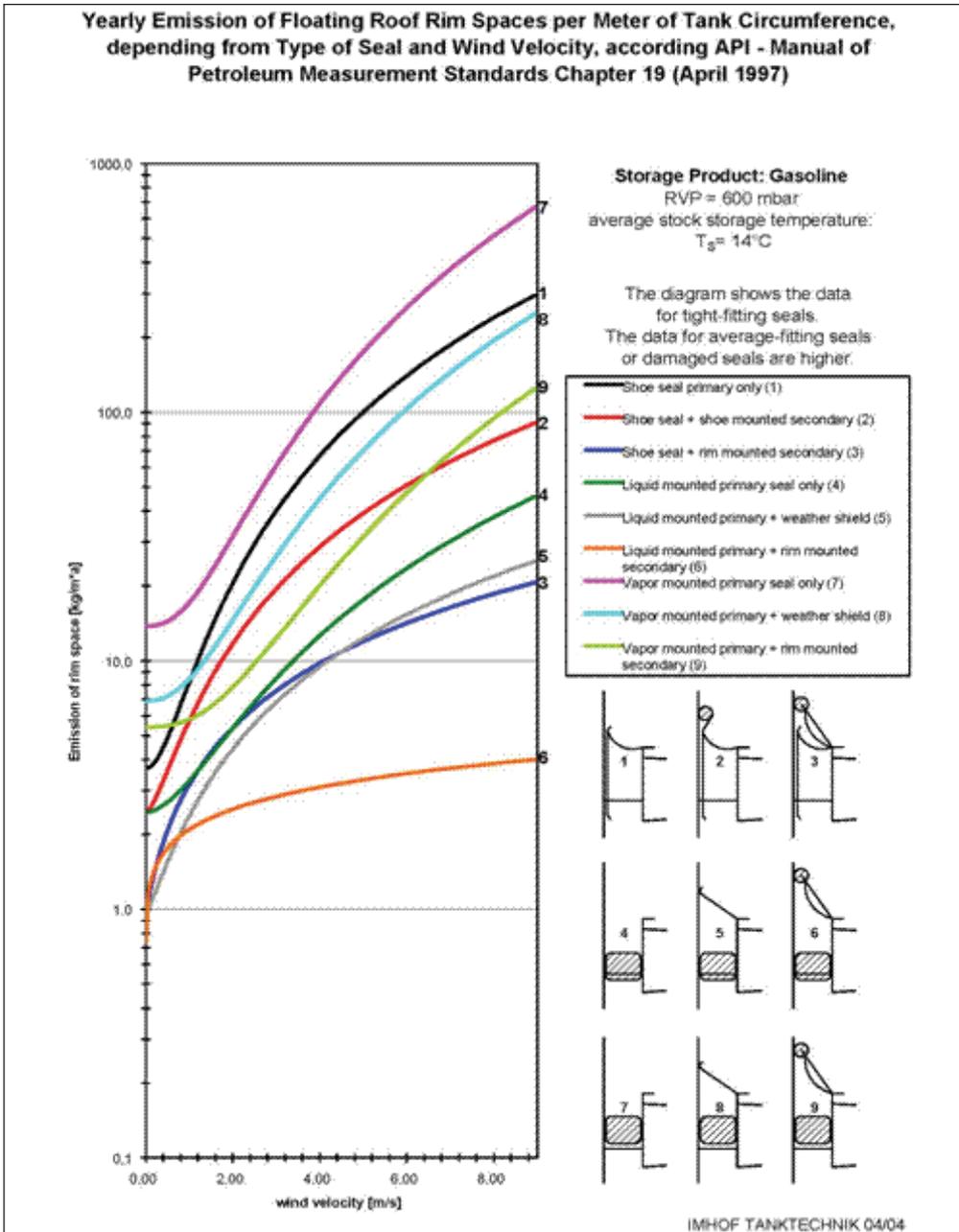
[185, UBA Germany, 2004]

8.21. Eficiencia de un TTFE dependiendo de la cantidad de renovaciones por año y del diámetro del tanque para crudo y gasolina



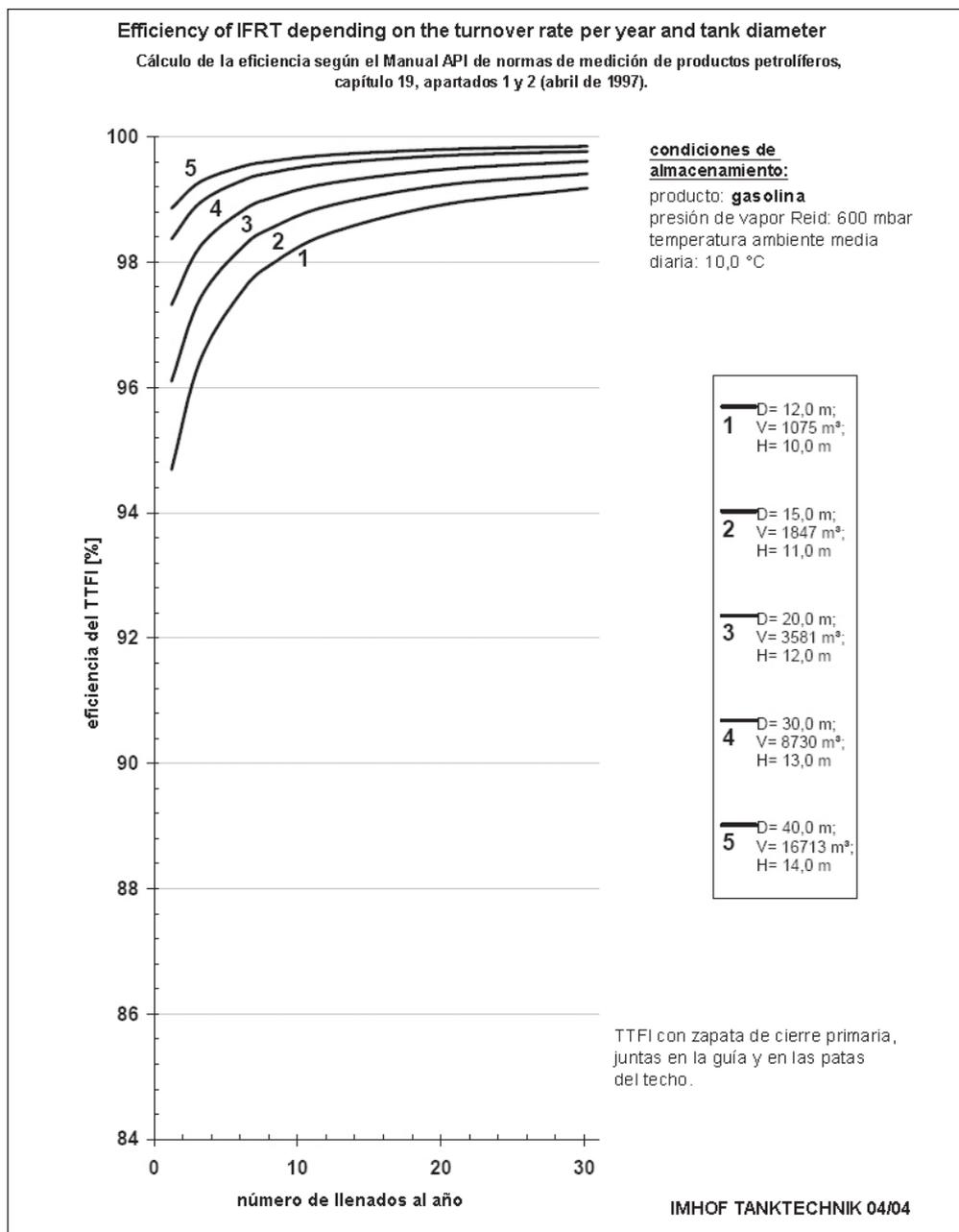
[185, UBA Germany, 2004]

8.22. Eficiencia de los diferentes tipos de elementos de estanquidad de techo flotante



[185, UBA Germany, 2004]

8.23. Eficiencia de un TTFI dependiendo del número de ciclos de llenado por año y el diámetro del tanque.



[185, UBA Germany, 2004]

ISBN 978-84-491-1331-4



9 788449 113314



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE



COMISIÓN EUROPEA

Centro de Publicaciones
P.º Infanta Isabel, 1
28014 Madrid