

## **GUÍA SOBRE MEDIO AMBIENTE, SALUD Y SEGURIDAD PARA LAS PLANTAS DE GAS NATURAL LICUADO**

### **INTRODUCCIÓN**

1. Las guías sobre medio ambiente, salud y seguridad (MASS) son documentos de referencia técnica que contienen ejemplos generales y específicos de las buenas prácticas internacionales para diferentes tipos de industrias<sup>1</sup>. Cuando uno o más integrantes del Grupo Banco Mundial participen en un proyecto, estas guías se aplicarán de acuerdo con los requisitos de sus respectivas políticas y normas. La presente guía deberá usarse junto con el documento de las **guías generales sobre MASS**, que ofrece a los usuarios orientación acerca de temas comunes que puede aplicarse a todos los sectores industriales. En el caso de proyectos complejos, es probable que deban utilizarse las guías correspondientes a varios sectores industriales, cuya lista completa se publica en [www.ifc.org/ehsguidelines](http://www.ifc.org/ehsguidelines).
2. Las guías sobre MASS contienen los niveles e indicadores de desempeño que normalmente se pueden alcanzar en instalaciones nuevas con la tecnología existente y a costos razonables. Para aplicar estas guías a instalaciones ya existentes, puede ser necesario establecer metas específicas para el sitio y un cronograma adecuado para alcanzarlas.
3. La aplicación de estas guías deberá adaptarse a los peligros y riesgos identificados en cada proyecto, con base en los resultados de una evaluación ambiental en la que se tengan en cuenta las variables específicas del lugar, tales como el contexto del país receptor, la capacidad de asimilación del medio ambiente y otros factores relativos al proyecto. La decisión de aplicar recomendaciones técnicas específicas deberá basarse en la opinión profesional de personas calificadas y con experiencia en el sector.
4. En los casos en que la reglamentación del país receptor establezca niveles e indicadores distintos de los presentados en las guías sobre MASS, los proyectos deberán alcanzar los que sean más rigurosos. Cuando, en vista de las circunstancias específicas del proyecto, se considere necesario aplicar niveles o indicadores menos rigurosos que los establecidos en las guías, se deberá aportar una justificación exhaustiva y detallada de las alternativas propuestas como parte de la evaluación ambiental del lugar en cuestión. Esta justificación deberá demostrar que los niveles de desempeño alternativos elegidos garantizan la protección de la salud humana y el medio ambiente.

---

<sup>1</sup> Definidas como el ejercicio de la aptitud profesional, la diligencia, la prudencia y la previsión que podría esperarse razonablemente de profesionales idóneos y con experiencia que realizan el mismo tipo de actividades en circunstancias iguales o semejantes en el ámbito mundial. Las circunstancias que estos profesionales pueden encontrar al evaluar el amplio espectro de técnicas de prevención y control de la contaminación a disposición de un proyecto pueden incluir, sin que la mención sea limitativa, diversos niveles de degradación ambiental y de capacidad de asimilación del medio ambiente, así como distintos niveles de factibilidad financiera y técnica.

## APLICABILIDAD

5. La guía sobre MASS para las plantas de gas natural licuado (GNL) contiene información de interés para las plantas de licuefacción de carga de base de GNL, el transporte (terrestre y marítimo), el almacenamiento, la regasificación (incluidas las unidades flotantes de regasificación y almacenamiento), las terminales de recorte de la demanda de punta y las instalaciones de abastecimiento de GNL. La **guía sobre MASS para puertos y zonas y terminales portuarias** contiene recomendaciones adicionales para las plantas costeras de GNL, incluidos puertos, muelles e instalaciones costeras en general (por ejemplo, terminales costeras, bases marítimas de suministro, terminales de carga y descarga). La **guía sobre MASS para transporte marítimo** contiene recomendaciones sobre cuestiones de MASS relacionadas con buques y unidades flotantes de almacenamiento. Las **guías generales sobre MASS** abordan las cuestiones de MASS relacionadas con el transporte por carretera de GNL. La presente guía no abarca cuestiones relacionadas con la producción y el almacenamiento de gas licuado de petróleo (GLP) o condensado de gas natural en las plantas de licuefacción.

Este documento está dividido en las siguientes secciones:

<b>1. Impactos y manejo específicos de la industria .....</b>	<b>2</b>
1.1 Medio ambiente .....	2
1.2 Salud y seguridad ocupacional .....	12
1.3 Salud y seguridad de la comunidad .....	17
<b>2. Seguimiento de los indicadores de desempeño .....</b>	<b>18</b>
2.1 Medio ambiente .....	18
2.2 Salud y seguridad ocupacional .....	20
<b>3. Referencias y fuentes adicionales .....</b>	<b>21</b>
<b>Anexo A: Descripción general de las actividades de la industria .....</b>	<b>23</b>

## 1. IMPACTOS Y MANEJO ESPECÍFICOS DE LA INDUSTRIA

6. Esta sección contiene una síntesis de las cuestiones sobre MASS asociadas con las plantas de GNL<sup>2</sup>, así como recomendaciones para su manejo. Estas cuestiones pueden ser pertinentes para cualquiera de las actividades descritas como aplicables en esta guía. Por otra parte, en las **guías generales sobre MASS** se ofrece orientación para el manejo de las cuestiones de este tipo que son comunes a las grandes plantas industriales durante las etapas de construcción y desmantelamiento.

### 1.1 Medio ambiente

7. Las siguientes cuestiones ambientales deben tenerse en cuenta como parte de un programa exhaustivo de evaluación y gestión que haga frente a los riesgos y posibles impactos específicos del proyecto. Las cuestiones ambientales comúnmente relacionadas con las plantas de GNL son las siguientes:

<sup>2</sup> El gas natural está compuesto principalmente por metano, pero comúnmente incluye cantidades variables de otros alcanos superiores, y a veces un pequeño porcentaje de dióxido de carbono, nitrógeno, sulfuro de hidrógeno o helio.

- manejo de materiales peligrosos
- vertidos de aguas residuales
- emisiones a la atmósfera
- manejo de residuos
- ruido
- transporte de GNL
- abastecimiento de GNL.

### 1.1.1 Manejo de materiales peligrosos

8. El almacenamiento, traslado y transporte de GNL puede causar fugas o escapes accidentales procedentes de tanques, tuberías, mangueras y bombas en las instalaciones en tierra y en los buques y vehículos de transporte de GNL. El almacenamiento y traslado de GNL también plantea riesgos de incendios y, cuando se encuentra sometido a presión, riesgos de explosión debido a la inflamabilidad de su gas de evaporación.

9. Además de las recomendaciones para el manejo de materiales peligrosos y petróleo presentadas en las **guías generales sobre MASS**, estas son otras medidas recomendadas para manejar este tipo de riesgos:

- Los tanques y componentes de almacenamiento de GNL (por ejemplo, tuberías, válvulas y bombas) deben cumplir las normas reconocidas internacionalmente para la integridad del diseño estructural y el desempeño operativo, a fin de evitar fallos catastróficos y prevenir incendios y explosiones durante las operaciones normales y la exposición a peligros naturales. Las normas aplicables reconocidas internacionalmente pueden consistir en disposiciones relativas a la puesta en servicio, la protección frente a desbordamientos, la contención secundaria, la medición y el control de flujos, la protección frente a incendios (incluidos los dispositivos cortallamas) y la descarga a tierra (para evitar las cargas electroestáticas)<sup>3</sup>.
- Los tanques de almacenamiento y sus componentes (por ejemplo, techos y juntas) deben inspeccionarse periódicamente para comprobar que no haya corrosión y se mantenga la integridad estructural. Asimismo, se llevará a cabo un mantenimiento regular y reemplazo de los equipos (por ejemplo, tuberías, juntas, conectores y válvulas)<sup>4</sup>. Debe instalarse un sistema de protección catódica para prevenir o minimizar la corrosión, según sea necesario.

<sup>3</sup> Véanse: Departamento de Transporte de los Estados Unidos, Administración de la Seguridad de Conductos y Materiales Peligrosos (2006), *U.S. Code of Federal Regulations (CFR) Title 49, Part 193: Liquefied Natural Gas Facilities: Federal Safety Standards* (2006); UNE-EN 1473:2016, *Instalaciones y equipos para gas natural licuado. Diseño de las instalaciones terrestres*; National Fire Protection Association (NFPA), *NFPA 59A Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas* (2016); *NFPA 52 Vehicular Gaseous Fuel Systems Code* (2013); UNE-EN 13645:2003, *Instalaciones y equipamiento para gas natural licuado. Diseño de instalaciones terrestres con capacidad de almacenamiento comprendida entre 5 t a 200 t*, y las normas ISO pertinentes.

<sup>4</sup> Existen diversos procedimientos para inspeccionar los tanques. La inspección visual puede revelar grietas y fugas en los tanques. Los análisis de rayos X o de ultrasonido pueden utilizarse para medir el grosor de las paredes e identificar sitios donde hay grietas. Las pruebas hidrostáticas permiten identificar fugas causadas por la presión, mientras que para detectar picadas puede emplearse una combinación de flujos de remolino de campo magnético y análisis de ultrasonido.

- Las actividades de carga y descarga (por ejemplo, la transferencia de cargamentos entre los transportadores y las terminales de GNL) serán responsabilidad de empleados debidamente capacitados, que seguirán los procedimientos formales preestablecidos para prevenir escapes accidentales y los riesgos de incendio y explosión. Los procedimientos incluirán todos los aspectos de las operaciones de entrega o carga desde la llegada hasta la salida, la conexión de los sistemas de descarga a tierra, la verificación de una adecuada conexión y desconexión de las mangueras y el cumplimiento de las políticas de prohibición de fumar y encender fuego para el personal y los visitantes<sup>5</sup>.

### **Vertidos**

10. El GNL es un líquido criogénico (su punto de ebullición a presión atmosférica es de -162 °C [-259 °F]) que no resulta inflamable en estado líquido. No obstante, al calentarse el GNL se forman gases de evaporación (principalmente metano), que en ciertas circunstancias pueden generar una nube de vapor en caso de liberarse. La liberación no controlada de GNL puede provocar incendios en balsas o chorros de fuego en presencia de una fuente de ignición, o bien nubes de vapor de metano potencialmente inflamables (fogonazos) —en condiciones de confinamiento o no— en presencia de una fuente de ignición. El GNL vertido directamente sobre una superficie caliente (como el agua<sup>6</sup>) podría provocar un brusco cambio de estado denominado “transición de fase rápida” (RPT)<sup>7</sup>.

11. Además de las recomendaciones sobre preparación y respuesta en caso de emergencia descritas en las **guías generales sobre MASS**, se recomiendan, entre otras, las siguientes medidas para prevenir vertidos de GNL o responder a ellos:

- Llevar a cabo una evaluación de riesgos de vertido de las instalaciones y las actividades conexas de transporte y envío, valiéndose de modelos reconocidos internacionalmente.
- Elaborar un plan de prevención y control de vertidos que contemple situaciones hipotéticas de importancia y la magnitud de los escapes. El plan deberá estar respaldado por los recursos y la capacitación necesarios para su implementación. En las instalaciones debe haber equipos para responder a vertidos menores derivados de las operaciones. Deben incluirse disposiciones y procedimientos a fin de movilizar recursos externos para responder a vertidos mayores, así como estrategias para su aplicación, además de una lista completa en la que se describan la

<sup>5</sup> Algunos ejemplos de buenas prácticas para la carga y descarga de GNL son: Society of International Gas Tanker and Terminal Operators Ltd (SIGTTO), *Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals*, 3.<sup>a</sup> edición (1999) Departamento de Seguridad Nacional de los Estados Unidos, Guardia Costera, *Code of Federal Regulations (CFR), Title 33: Navigation and Navigable Waters, Part 127: Waterfront Facilities Handling Liquefied Natural Gas and Liquefied Hazardous Gas*.

<sup>6</sup> El GNL se evapora rápidamente al exponerse a fuentes de calor ambiente, como por ejemplo el agua, y produce aproximadamente 600 metros cúbicos estándar de gas natural por cada metro cúbico de líquido.

<sup>7</sup> Un peligro potencialmente significativo para el medio ambiente y la seguridad asociado con el transporte de GNL guarda relación con la RPT que puede producirse cuando se vierte accidentalmente GNL en el agua a un ritmo muy rápido. La transferencia de calor del agua al GNL vertido provoca la conversión inmediata del GNL del estado líquido al estado gaseoso. La gran cantidad de energía liberada durante una RPT puede provocar una explosión física sin combustión ni reacción química. El peligro potencial asociado a las RPT puede ser grave, aunque normalmente limitado al área del vertido.

naturaleza, la ubicación y el uso de los equipos de respuesta dentro y fuera del emplazamiento, y los tiempos de respuesta para su utilización.

- Elaborar planes de respuesta de control de vertidos en coordinación con los entes reguladores locales pertinentes.
- Dotar a las instalaciones de sistemas de detección temprana de escapes de gas, diseñados para identificar la existencia de escapes y ayudar a localizar su fuente, de modo que puedan activarse con rapidez las paradas de emergencia iniciadas por operador, y minimizar el volumen de las emisiones.
- Disponer de un sistema de parada de emergencia para activar la parada automática de las transferencias en caso de producirse fugas significativas de GNL.
- Elaborar e implementar procedimientos de prevención de vertidos para las actividades de carga y descarga en las que participen transportadores y terminales de GNL, de conformidad con las normas aplicables reconocidas internacionalmente y las guías específicamente dirigidas a las comunicaciones y la planificación previas con la terminal receptora<sup>8</sup>.
- Garantizar que el diseño de los tanques de almacenamiento de GNL en tierra incluya un sistema adecuado de contención secundaria (por ejemplo, tanques internos de acero soldado con alto contenido en níquel y tanques externos de hormigón; un tanque de pared única con un colector de contención externo, diseño de tanques de contención plena) para detener un escape inesperado.
- Disponer de medios de graduación, drenaje o confinamiento para las zonas de evaporación, proceso o transferencia en las instalaciones con capacidad para contener la mayor cantidad posible de GNL y otros líquidos inflamables que pudieran liberarse de una única línea de transferencia en 10 minutos<sup>9</sup>.
- Garantizar que los materiales elegidos para conductos y equipos que puedan exponerse a temperaturas criogénicas cumplen las normas internacionales de diseño<sup>10</sup>.
- Facilitar la dispersión segura del gas en caso de producirse un escape, maximizándose la ventilación de las zonas afectadas y minimizando las probabilidades de que el gas se acumule en espacios cerrados o parcialmente cerrados. El GNL vertido debe dejarse evaporar y reducirse la tasa de evaporación siempre que sea posible (por ejemplo, cubriéndolo con espuma expansiva).
- Diseñar un sistema de drenaje en las instalaciones que permita recoger las sustancias peligrosas emitidas durante escapes accidentales para reducir los riesgos de incendio y explosión y la descarga en el medio ambiente. Se optimizará el diseño del sistema de drenaje

<sup>8</sup> Véanse: Departamento de Transporte de los Estados Unidos, Administración de la Seguridad de Conductos y Materiales Peligrosos, Code of Federal Regulations (CFR), Title 49: *Transportation. Part 193: Liquefied Natural Gas Facilities: Federal Safety Standards*; Unión Europea, Norma Europea UNE-EN 1473:2016, *Instalaciones y equipos para gas natural licuado. Diseño de las instalaciones terrestres*, y National Fire Protection Association (NFPA), *NFPA 59A, Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas*.

<sup>9</sup> En la UNE-EN 1473:2016 se sugiere que se considere el sistema de embalse sobre la base de una evaluación del riesgo.

<sup>10</sup> Véanse: National Fire Protection Association (NFPA), 59A, *Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas* y NFPA (2013), *NFPA 52: Vehicular Gaseous Fuel Systems Code*.

de vertidos de GNL (sistema de receptores y colectores) para reducir la tasa de vaporización y limitar la zona de dispersión global del vapor<sup>11</sup>.

### 1.1.2 Vertidos de aguas residuales

12. Las **guías generales sobre MASS** proporcionan información acerca del manejo de las aguas residuales, la conservación y reutilización del agua, junto con programas de control de la calidad del agua y de las aguas residuales. Las recomendaciones siguientes se refieren a otros flujos de aguas residuales específicas de las instalaciones de GNL.

#### *Agua de refrigeración y corrientes de agua fría*

13. El uso de agua para los procesos de refrigeración en las instalaciones de licuefacción del GNL y para el calentamiento para la revaporización en las terminales receptoras de GNL puede suponer un uso considerable de agua y generar corrientes de descarga. Entre las recomendaciones para controlar el uso de agua de paso en un solo sentido en el proceso térmico y en las corrientes de descarga figuran las siguientes:

- Estudiar las opciones posibles para la conservación del agua en los sistemas de refrigeración empleados en las instalaciones de GNL (por ejemplo, intercambiadores térmicos refrigerados con aire en lugar de agua y, en su caso, posibilidades de integración de las descargas de agua fría en otras instalaciones industriales o plantas eléctricas cercanas). En la selección del sistema de preferencia se debería buscar el equilibrio entre sus ventajas ambientales y las implicaciones para la seguridad de la elección propuesta<sup>12</sup>. Las **guías generales sobre MASS** proporcionan recomendaciones adicionales sobre conservación del agua.
- Descargar el agua fría o de refrigeración en aguas superficiales en una ubicación que facilite la mezcla máxima de la columna térmica para garantizar que la temperatura no supere en 3 grados centígrados la temperatura ambiente en el perímetro de la zona de mezcla, de acuerdo con las directrices proporcionadas en las **guías generales sobre MASS** y como se indica en el cuadro 1 de la sección 2.1 de la presente guía.
- Seleccionar cuidadosamente los aditivos químicos, cuando sea necesario utilizar biocidas o sustancias químicas, en términos de concentración de la dosis, toxicidad, biodegradabilidad, biodisponibilidad y potencial de bioacumulación. Se tendrán en cuenta los efectos residuales en el momento de la descarga mediante técnicas como la evaluación basada en el riesgo.

#### *Otros flujos de aguas residuales*

14. Las plantas de GNL generan otro tipo de descargas de aguas residuales, entre ellas: aguas de drenaje y aguas pluviales (de áreas de proceso y de otras áreas), aguas residuales de alcantarillado, aguas de fondo de depósitos (por ejemplo, por condensación en tanques de almacenamiento de GNL), descargas del sistema de agua para la extinción de incendios, aguas de lavado (de equipos y vehículos), aguas

<sup>11</sup> Por ejemplo, dirigiendo el vertido de GNL a un embalse alejado.

<sup>12</sup> Por ejemplo, cuando el espacio es limitado (como en el caso de alta mar), los riesgos de explosión son fundamentales a la hora de tomar una decisión sobre las opciones preferidas. Se recomienda un equilibrio en términos de un enfoque general de riesgos para el medio ambiente, la salud y la seguridad tan bajo como sea razonablemente factible.

oleosas en general y otras aguas (por ejemplo, de pruebas hidrostáticas). Se tomarán en consideración las siguientes medidas de prevención y tratamiento de la contaminación para estas aguas residuales:

- *Alcantarillado:* Las aguas grises y negras procedentes de duchas, inodoros y cocinas se tratarán de acuerdo con lo establecido en las **guías generales sobre MASS**.
- *Aguas de drenaje y aguas pluviales:* En la medida en que sea práctico y compatible con los sistemas de control de vertidos de GNL que se enumeran en la sección de manejo de materiales peligrosos, se dispondrá de sistemas de drenaje separados para las aguas de drenaje de las áreas de proceso que pudieran estar contaminadas con hidrocarburos (drenajes cerrados) y para las aguas de drenaje del resto de áreas (drenajes abiertos). Todas las áreas de proceso deben estar delimitadas y contar con un drenaje adecuado de la planta a través de un sistema cerrado de alcantarillado para asegurar que se evite la escorrentía superficial no controlada potencialmente contaminada con hidrocarburos. Los tanques de drenaje y sumidero se diseñarán de modo que dispongan de capacidad suficiente para las condiciones de operación previsible y se instalarán sistemas que impidan el rebalse. Se utilizarán cubetas de goteo y otros controles para recoger la escorrentía ocasionada por los equipos y que no pueda contenerse en una zona segura, y se canalizarán los contenidos hacia el sistema de drenaje cerrado. Los canales de circulación y estanques de recolección de aguas pluviales que formen parte del sistema de drenaje abierto estarán equipados con separadores de agua y aceite. Los separadores pueden ser deflectores o placas de coalescencia y deberán someterse a un mantenimiento periódico. La escorrentía de aguas pluviales contaminada con hidrocarburos se tratará con un sistema de separación de agua y aceite capaz de alcanzar concentraciones de aceite y grasa inferiores a 10 mg/L, como figura en la sección 2.1, cuadro 1, de la presente guía. En las **guías generales sobre MASS** se proporciona orientación adicional sobre el manejo de las aguas pluviales.
- *Agua para la extinción de incendios:* El agua para incendios procedente de las pruebas habituales debe contenerse y canalizarse hacia el sistema de drenaje de la planta o, si está contaminada con hidrocarburos, hasta un estanque de almacenamiento y al sistema de tratamiento de aguas residuales.
- *Aguas de lavado:* Las aguas de lavado de equipos y vehículos se canalizarán hacia el sistema de drenaje cerrado o hacia el sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta.
- *Aguas oleosas en general:* Las aguas oleosas procedentes de las bandejas de goteo y los lodos líquidos de los conductos y equipos de los procesos se canalizarán hacia el sistema de tratamiento de aguas residuales.
- *Agua de pruebas hidrostáticas:* Las pruebas hidrostáticas de los equipos de GNL (por ejemplo, tanques de almacenamiento, sistemas de tuberías en las instalaciones, conexiones de tuberías de transmisión y otros equipos) consisten en pruebas de presión con agua durante las fases de construcción o puesta en servicio para verificar su integridad y detectar posibles fugas. Pueden añadirse aditivos químicos al agua para prevenir la corrosión interna. Para los conductos y componentes criogénicos puede recurrirse a pruebas neumáticas con aire seco o con nitrógeno. Se implementarán las siguientes medidas de prevención y control de la contaminación para el manejo de las aguas de pruebas hidrostáticas:
  - reducir la necesidad de utilizar sustancias químicas minimizando el tiempo durante el cual el agua de la prueba permanece en los equipos;

- seleccionar cuidadosamente los aditivos químicos en términos de concentración, toxicidad, biodegradabilidad, biodisponibilidad y posible bioacumulación;
- usar la misma agua para múltiples pruebas.

15. Cuando la descarga de las aguas de pruebas hidrostáticas en aguas superficiales o en tierra sea la única alternativa factible para su eliminación, se elaborará un plan de descarga en el que se tengan en cuenta los puntos de descarga, la tasa de descarga, el uso de sustancias químicas (si lo hubiere) y la dispersión, el riesgo ambiental y el seguimiento requerido. La calidad del agua de la prueba hidrostática deberá controlarse antes de su uso y descarga, y se tratará para cumplir los límites de descarga establecidos en el cuadro 1 de la sección 2.1 de la presente guía<sup>13</sup>. En la **guía sobre MASS para el desarrollo de petróleo y gas en tierra y en mar**, se ofrecen recomendaciones adicionales para el manejo de las aguas de pruebas hidrostáticas para oleoductos en estos dos casos.

### 1.1.3 Emisiones a la atmósfera

16. Entre las fuentes de emisiones a la atmósfera (continuas o discontinuas) procedentes de instalaciones de GNL figuran la combustión para la generación de electricidad y de calor (por ejemplo, calderas para las actividades de deshidratación y licuefacción en las terminales de licuefacción de GNL y para las actividades de regasificación en las terminales receptoras de GNL), además del uso de motores alternativos y de otro tipo (que pueden utilizarse para accionar maquinaria de gran tamaño como compresores y bombas). Durante las operaciones de licuefacción y de regasificación de GNL en las terminales se pueden generar emisiones procedentes del venteo y la quema de gas, así como de fuentes fugitivas. Los principales contaminantes del aire procedentes de estas fuentes suelen ser los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), el monóxido de carbono (CO), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y, en el caso de los gases sulfurosos, el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).

17. En las plantas de GNL con importantes fuentes de combustión (como las unidades flotantes de almacenamiento y regasificación amarradas a largo plazo), los impactos sobre la calidad del aire se estimarán mediante evaluaciones de referencia de la calidad del aire y modelos de dispersión atmosférica, a fin de establecer las posibles concentraciones de aire ambiente a nivel del suelo durante el diseño de las instalaciones y la planificación de las operaciones, tal como se describe en las **guías generales sobre MASS**. Estos estudios deben garantizar que se eviten o minimicen los impactos adversos para la salud humana y el medio ambiente.

18. Deben realizarse esfuerzos técnicamente viables y eficaces en función de los costos para optimizar la eficiencia energética y diseñar instalaciones que reduzcan el consumo de energía, con el objetivo general de aminorar las emisiones a la atmósfera. Las **guías generales sobre MASS** contienen recomendaciones adicionales sobre eficiencia energética.

<sup>13</sup> La descarga de efluentes en aguas superficiales no debe suponer un impacto significativo para la salud humana y los hábitats más sensibles. Puede ser necesario elaborar un plan de eliminación que incorpore los puntos de descarga, la tasa de descarga, el uso y dispersión de sustancias químicas, y los riesgos ambientales. Los puntos de descarga se deberán planificar teniendo en cuenta las zonas ambientalmente sensibles, prestando especial atención a las capas freáticas superiores, los acuíferos vulnerables y los humedales, así como a los receptores comunitarios sensibles, como pozos de agua, tomas de agua y tierras agrícolas.

19. Las emisiones totales de gases de efecto invernadero de todas las instalaciones deben cuantificarse anualmente de acuerdo con metodologías reconocidas internacionalmente.

### **Gases de escape**

20. Las emisiones de gases de escape procedentes de la combustión de gas natural o de hidrocarburos líquidos en turbinas, calderas y motores empleados para la generación de electricidad y calor pueden constituir la fuente más importante de emisiones a la atmósfera en las instalaciones de GNL. Durante la selección y adquisición de todos los equipos se deberán tener en cuenta las especificaciones sobre emisiones.

21. En las **guías generales sobre MASS** se ofrecen orientaciones para el manejo de fuentes de combustión con una capacidad igual o inferior a 50 megavatios térmicos (MWt), incluidas las normas sobre emisiones a la atmósfera de emisiones de escape. Para las emisiones de fuentes de combustión con una capacidad superior a los 50 MWt, véase la **guía sobre MASS para las plantas de energía térmica**. Las unidades flotantes de almacenamiento y regasificación fijadas permanentemente a una plataforma de atraque o amarradas a largo plazo en un puerto deben cumplir las normas sobre emisiones a la atmósfera aplicables a las fuentes fijas.

22. En las terminales de regasificación, se estudiará la posibilidad de elegir vaporizadores de combustión sumergida (SCV), vaporizadores de bastidor abierto (ORV)<sup>14</sup>, vaporizadores de carcasa y tubo y vaporizadores de aire, teniendo en cuenta las condiciones ambientales de partida y las sensibilidades ambientales existentes. Si se dispone de otra fuente de energía térmica en las proximidades (por ejemplo, una refinería cercana), se podría considerar el uso de vaporizadores de recuperación de calor residual y vaporizadores de carcasa y tubo.

### **Venteo y quema de gas**

23. El venteo o la quema de gas es una importante medida de seguridad utilizada en las instalaciones de GNL para garantizar que el gas se elimine de forma segura en caso de que se produzca una emergencia, un fallo de energía o de equipos, o cualquier otra situación anómala que afecte a la planta. El venteo o la quema de gas se deben utilizar únicamente en caso de emergencia o en situaciones comprometidas de la planta. El venteo o la quema continua de gases de evaporación en las operaciones normales no se considera una buena práctica de la industria y debe evitarse. Las recomendaciones sobre buenas prácticas con relación a la quema y el venteo se describen en las **guías sobre MASS para el desarrollo de petróleo y gas en tierra**.

### **Gas de evaporación**

24. Después de su licuefacción, el GNL almacenado emite una pequeña cantidad de vapor de gas metano, denominado “gas de evaporación” (BOG), a causa de la acumulación de calor procedente de las condiciones ambientales y de las bombas de los tanques, además de los cambios de presión barométrica.

<sup>14</sup> En caso de emplearse ORV para la vaporización del GNL, no se prevé que las terminales de regasificación de GNL generen emisiones a la atmósfera durante las operaciones normales, exceptuando las emisiones fugitivas de gases con alto contenido en metano.

El BOG se debe recoger empleando un sistema adecuado de recuperación de vapor (por ejemplo, sistemas de compresores). En el caso de las plantas de GNL (salvo en las operaciones de carga de los transportadores de GNL), el vapor debe devolverse al proceso para su licuefacción o utilizarse como combustible en el emplazamiento; a bordo de los transportadores de GNL, el BOG debe licuarse de nuevo y devolverse a los tanques de almacenamiento o emplearse como combustible; en las instalaciones de regasificación (terminales receptoras), los vapores recogidos deben devolverse al sistema de procesos para ser utilizados como combustible en el emplazamiento, comprimidos y canalizados hacia el flujo/tubería de gas para la venta, o someterse a la quema.

### **Emisiones fugitivas**

25. Las emisiones fugitivas en instalaciones de GNL pueden asociarse con venteos fríos, fugas en conductos y tuberías, válvulas, conexiones, bridas, revestimientos, conducciones abiertas, juntas de bombas, juntas de compresores, válvulas de descompresión, así como con operaciones de carga y descarga en general. En el diseño, la operación y el mantenimiento de las instalaciones se estudiarán e implementarán métodos para controlar y reducir las emisiones fugitivas. En la selección de las válvulas, bridas, accesorios, juntas y revestimientos apropiados se tomarán en cuenta los requisitos de seguridad e idoneidad, así como la capacidad para reducir las fugas de gas y las emisiones fugitivas<sup>15</sup>. Además, se implementarán programas de detección y reparación de fugas.

26. Las **guías sobre MASS para las terminales de productos de crudo y petróleo** contienen recomendaciones adicionales para prevenir y controlar las emisiones fugitivas procedentes de los tanques de almacenamiento.

#### **1.1.4 Manejo de residuos**

27. Entre los residuos peligrosos y no peligrosos que pueden generarse en instalaciones de GNL figuran residuos de oficina y envasado en general, aceites residuales, trapos contaminados con aceite, fluidos hidráulicos, pilas usadas, latas de pintura vacía, sustancias químicas residuales y contenedores de sustancias químicas usados, filtros usados, medios empleados para el desazufrado y la deshidratación (por ejemplo, tamices moleculares) y lodos oleosos procedentes de los separadores de agua y aceite, aminas usadas procedentes de las unidades de eliminación de gas ácido (si hubiera), fragmentos de metal y residuos médicos entre otros.

28. Los materiales de desecho se dividirán en residuos peligrosos y no peligrosos, y se considerará su reutilización o reciclado antes de su eliminación. Se elaborará un plan de manejo de residuos que contenga un mecanismo de seguimiento de los residuos desde donde se originaron hasta el lugar de su recepción final. El almacenamiento, manipulación y eliminación de los residuos peligrosos y no peligrosos se realizará de acuerdo con las buenas prácticas sobre MASS para el manejo de residuos descritas en las **guías generales sobre MASS**.

<sup>15</sup> Véanse: Departamento de Transporte de los Estados Unidos, Administración de la Seguridad de Conductos y Materiales Peligrosos (2006), Code of Federal Regulations (CFR), Title 49: *Transportation. Part 193: Liquefied Natural Gas Facilities: Federal Safety Standards*; UNE-EN 1473:2016, *Instalaciones y equipos para gas natural licuado. Diseño de las instalaciones terrestres*, y National Fire Protection Association (NFPA) (2016), *NFPA 59A, Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas*.

### 1.1.5 Ruido

29. Las principales fuentes de emisiones de ruido en las instalaciones de GNL pueden ser bombas, compresores, generadores y sus controladores, compresores de succión y descarga, conductos de reciclado, secadores de aire, calentadores, enfriadores de aire en las instalaciones de licuefacción, vaporizadores usados durante la regasificación y operaciones generales de carga y descarga de transportadores y buques de GNL. En las **guías generales sobre MASS** se ofrecen directrices sobre los niveles aceptables y las recomendaciones generales para la prevención y el control del ruido.

### 1.1.6 Transporte de GNL

30. En la **guía sobre MASS para transporte marítimo** se abordan las cuestiones ambientales más comunes relacionadas con los buques y el transporte por mar (por ejemplo, el manejo de materiales peligrosos, aguas residuales y otros efluentes, emisiones a la atmósfera, y generación y manejo de residuos sólidos relacionados con buques cisterna y transportadores de GNL), así como recomendaciones para su manejo. Las emisiones procedentes de remolcadores y buques de GNL, especialmente cuando el muelle se encuentra muy cerca de la costa, pueden tener un impacto considerable en la calidad del aire.

31. En el diseño, la construcción y la operación de los buques de GNL se deben respetar las normas y códigos internacionales<sup>16</sup> relativos a los requisitos de casco (por ejemplo, doble casco con distancias de separación entre las capas), la contención de las mercancías, los controles de presión y temperatura, los tanques de lastre, los sistemas de seguridad, la protección contra incendios y la capacitación de las tripulaciones, entre otras cuestiones<sup>17</sup>. Entre las recomendaciones específicas para mitigar la RPT, o explosión física causada por la rápida vaporización del GNL al entrar en contacto con el agua que no implica combustión o quema, figuran las siguientes:

- Maximizar el nivel de presión de los tanques de carga de GNL.
- Los sistemas de descompresión de los tanques de carga de GNL deben actuar rápidamente para desalojar los grandes volúmenes de vapor que pueden generarse durante un evento de RPT.

32. El GNL se puede transportar en camiones cisterna o remolques para llegar a los usuarios finales y a las instalaciones de abastecimiento de GNL. Los posibles riesgos asociados con el transporte de GNL por carretera son los accidentes de tráfico, la acumulación de BOG y las fugas del tanque. La acumulación de BOG durante el transporte en camiones cisterna es un factor crítico que debe abordarse adecuadamente. Los camiones cisterna o remolques de GNL deberán estar contruidos con doble pared, con un sistema combinado de vacío y aislamiento para mantener el líquido criogénico refrigerado durante el transporte.

<sup>16</sup> Entre los ejemplos de normas y códigos internacionales destaca el código internacional para la construcción y el equipo de buques que transporten gases licuados a granel, conocido como Código Internacional de Gaseiros (Código CIG), de la Organización Marítima Internacional (OMI). Para recomendaciones adicionales, véanse las normas, códigos de prácticas, principios y guías publicados por la SIGTTO, disponibles en [www.sigtto.org](http://www.sigtto.org).

<sup>17</sup> Los buques de transporte de GNL deberán disponer de un plan de emergencia a bordo de acuerdo con la normativa internacional (regla 26 del apéndice I del acuerdo MARPOL 73/78). Los planes de contingencia de las instalaciones de GNL deben abarcar las operaciones de carga y descarga y, tal y como recomienda la OMI, incluir las comunicaciones y la coordinación entre el “buque y la costa”.

En la sección 3.5 de las **guías generales sobre MASS** se ofrece orientación adicional sobre el transporte de materiales peligrosos.

### 1.1.7 Abastecimiento de GNL

33. El diseño, emplazamiento, construcción, instalación, contención de vertidos y operación de contenedores, recipientes a presión, bombas, equipos de vaporización, edificios, estructuras y equipos conexos que se utilizan para el almacenamiento y suministro de GNL como combustible para motores de vehículos de todo tipo deben cumplir las normas reconocidas internacionalmente<sup>18</sup>.

34. En la **guía sobre MASS para las estaciones de servicio** se ofrecen orientaciones adicionales para el manejo de cuestiones de medio ambiente, salud y seguridad relacionadas con las operaciones de suministro de combustible al por menor (como las aguas residuales y otros efluentes, las emisiones a la atmósfera, y la generación y manejo de residuos sólidos).

## 1.2 Salud y seguridad ocupacional

35. Las cuestiones de salud y seguridad ocupacional deberán tenerse en cuenta como parte de una evaluación exhaustiva de amenazas o riesgos, como, por ejemplo, los estudios de identificación de riesgos (HAZID), análisis de riesgos y operabilidad de procesos (HAZOP), y otros estudios de evaluación de riesgos. Los resultados se incorporarán a la planificación de la gestión de salud y seguridad, al diseño de las instalaciones y de los sistemas de trabajo seguro, y a la elaboración y comunicación de procedimientos de seguridad laboral.

36. En el diseño de las instalaciones se buscará eliminar o reducir la posibilidad de lesión o riesgo de accidentes y se tendrán en cuenta las condiciones ambientales predominantes en el emplazamiento, incluidas las probabilidades de que se manifiesten peligros naturales extremos tales como terremotos o huracanes.

37. La planificación de la gestión de la salud y la seguridad debería demostrar que se adoptará un enfoque sistemático y estructurado en el manejo de la salud y la seguridad, y que existen controles para reducir los riesgos al mínimo posible; que el personal está debidamente capacitado, y que los equipos se mantienen en condiciones de seguridad. Se recomienda la creación de un comité de salud y seguridad en las instalaciones.

38. Se desarrollará un sistema formal de permisos de trabajo en las instalaciones. Mediante el permiso se garantizará que toda labor que pueda entrañar algún peligro se realizará de forma segura, y se garantizarán la autorización efectiva del trabajo designado, la comunicación efectiva de este (incluidos los riesgos asociados) y los procedimientos de aislamiento seguro que deben aplicarse antes de comenzar el trabajo. Se implementará un procedimiento de separación y etiquetado para asegurar que todos los equipos están aislados de las fuentes de energía antes de su mantenimiento o retirada.

<sup>18</sup> Por ejemplo, la norma 52 de la NFPA *Vehicular Gaseous Fuel Systems Code* (2013) y la UNE-EN 13645:2003, *Instalaciones y equipamiento para gas natural licuado. Diseño de instalaciones terrestres con capacidad de almacenamiento comprendida entre 5 t a 200 t*.

39. Las instalaciones deben contar con un número mínimo y adecuado de prestadores de primeros auxilios especializados (personal industrial de atención prehospitalaria) y con los medios para proporcionar a corto plazo asistencia remota al paciente. Dependiendo del número de trabajadores presentes y de la complejidad de las instalaciones, se estudiará la posibilidad de establecer una unidad médica en el lugar e incorporar a un profesional de la salud. En ciertos casos, como opción se puede contar con instalaciones para servicios de telemedicina.

40. En las **guías generales sobre MASS** se describen las medidas generales de diseño y operación de las instalaciones destinadas a manejar los riesgos principales para la salud y la seguridad ocupacional. También se proporcionan orientaciones generales para las actividades de construcción y desmantelamiento, así como para la capacitación sobre salud y seguridad, los equipos de protección personal y el manejo de riesgos físicos, químicos, biológicos y radiológicos comunes a todas las industrias.

41. Entre los problemas asociados con la salud y la seguridad ocupacional en la operación de las plantas de GNL se encuentran los siguientes:

- incendio y explosión;
- vuelco;
- contacto con superficies frías;
- riesgos de origen químico;
- espacios cerrados.

42. Las consecuencias para la salud y la seguridad ocupacional, así como las recomendaciones aplicables al transporte de GNL por medio de buques se describen en la **guía sobre MASS para el transporte marítimo**<sup>19</sup>.

### 1.2.1 Incendio y explosión

43. Los peligros de incendio y explosión en las instalaciones de GNL pueden responder a la presencia de gases y líquidos combustibles, oxígeno y fuentes de ignición durante las actividades de carga y descarga, o a fugas y vertidos de productos inflamables. Entre las posibles fuentes de ignición se incluyen las chispas derivadas de la acumulación de electricidad estática<sup>20</sup>, los rayos y las llamas expuestas. El escape accidental de GNL puede generar la formación de una masa líquida en evaporación, lo que a su vez podría provocar el incendio en balsas o la dispersión de una nube de gas natural procedente de la evaporación de la masa líquida.

<sup>19</sup> La construcción y el equipamiento de los buques que transportan gases licuados a granel y los transportadores de gas deben cumplir los requisitos del Código Internacional de Gaseos (Código CIG), publicado por la OMI. Para recomendaciones adicionales, véanse las normas, códigos de prácticas, principios y guías publicados por la SIGTTO.

<sup>20</sup> La electricidad estática puede generarse por el movimiento de líquidos en contacto con otros materiales, incluidos conductos y tanques de combustible durante la carga y descarga de producto. Además, el rocío y el vapor de agua generados durante la limpieza de tanques y equipos puede cargarse de electricidad, sobre todo en presencia de agentes químicos de limpieza.

44. Además de las recomendaciones para el manejo de materiales peligrosos y petróleo y de los planes de preparación y respuesta de emergencia descritos en las **guías generales sobre MASS**, las siguientes medidas son específicas de las instalaciones de GNL:

- Se diseñarán, construirán y operarán de acuerdo con las normas y prácticas reconocidas internacionalmente<sup>21</sup> para la prevención y el control de los peligros de incendio y explosión, especialmente las disposiciones sobre distancias de seguridad entre los tanques situados en las instalaciones y entre las propias instalaciones y los edificios adyacentes<sup>22</sup>.
- Se implementarán procedimientos de seguridad para la carga y descarga del producto en los sistemas de transporte (por ejemplo, camiones y vagones cisterna, y buques)<sup>23</sup>, incluido el uso de válvulas de control de seguridad y equipos de parada de emergencia.
- Se preparará un plan formal de respuesta contra incendios respaldado con los recursos necesarios y se proporcionará capacitación y respuesta contra incendios como parte de la instrucción inicial y la formación general del personal sobre salud y seguridad ocupacional. El adiestramiento incluirá el uso de equipos de extinción de incendios y la evacuación, y se proporcionará capacitación avanzada en seguridad a un grupo especialmente dedicado a la extinción de incendios. Los procedimientos pueden incluir actividades de coordinación con las autoridades locales o instalaciones vecinas. En las **guías generales sobre MASS** se ofrecen otras recomendaciones sobre preparación y respuesta ante emergencias.
- Se evitarán las posibles fuentes de ignición garantizando:
  - la adecuada descarga a tierra para evitar la acumulación de electricidad estática y la posibilidad de atraer rayos (incluidos procedimientos formales para el uso y mantenimiento de conexiones de descarga a tierra)<sup>24</sup>;
  - el uso de instalaciones eléctricas intrínsecamente seguras y de dispositivos antichispas<sup>25</sup>;
  - la implementación de sistemas de autorización y procedimientos formales para realizar trabajos de riesgo durante las actividades de mantenimiento<sup>26</sup>, incluidos el venteo y la limpieza adecuados de los tanques;

<sup>21</sup> Ejemplos de buenas prácticas se describen en la norma 59A de la NFPA, *Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas* (2016), y en UNE-EN 1473:2016. En American Petroleum Institute (API) (2003), *Recommended Practice. Protection Against Ignitions Arising out of Static, Lightning, and Stray Currents* se encuentra una guía adicional para minimizar la exposición a la electricidad estática y los rayos.

<sup>22</sup> En caso de no poder garantizarse un espaciamiento adecuado entre las distintas zonas, se estudiarán otras medidas de mitigación de riesgos, tales como muros contra explosiones, para separar las zonas de proceso de otras áreas dentro de las instalaciones, o el reforzamiento de edificios.

<sup>23</sup> Véanse: SIGTTO (1999), *Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals*, tercera edición; Departamento de Seguridad Nacional de los Estados Unidos, Guardia Costera, *Code of Federal Regulations (CFR), Title 33: Navigation and Navigable Waters, Part 127: Waterfront Facilities Handling Liquefied Natural Gas and Liquefied Hazardous Gas*, y (NFPA) (2016), *NFPA 59A, Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas*.

<sup>24</sup> Véase, por ejemplo, *International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals (ISGOTT)* (2006), capítulo 20.

<sup>25</sup> Véase, por ejemplo, *ISGOTT* (2006), capítulo 19.

<sup>26</sup> El control de las fuentes de ignición es especialmente pertinente en las zonas donde se producen mezclas potencialmente inflamables de vapor y aire como, por ejemplo, dentro del espacio de vapor de los tanques, dentro del espacio de vapor de vagones y camiones cisterna durante la carga y descarga, en las proximidades de los sistemas de eliminación y recuperación de vapor, cerca de las válvulas de descarga en los tanques atmosféricos, o cerca de fugas o vertidos.

- la aplicación de zonificaciones de áreas peligrosas en el diseño de equipos eléctricos.
- Se dotará adecuadamente a las instalaciones con equipos de detección y extinción de incendios que cumplan las especificaciones técnicas reconocidas internacionalmente para el tipo y la cantidad de materiales inflamables y combustibles allí almacenados. Entre los equipos de extinción de incendios puede haber equipos móviles o portátiles, como extintores de incendios y vehículos especializados. Los sistemas fijos de extinción de incendios pueden consistir en el uso de torres de espuma y bombas de gran flujo. Debe haber una combinación de sistemas de alarma contra incendios automáticos y manuales. Cuando se instalen sistemas activos de protección contra incendios, deberán estar ubicados de manera que permitan una respuesta rápida y eficaz. La instalación de sistemas de extinción de incendios basados en haloalcanos (halón) no se considera una buena práctica de la industria y debe evitarse. Los sistemas fijos también pueden consistir en extintores de espuma adheridos a los tanques y en sistemas de protección contra incendios automáticos o manuales en las zonas de carga y descarga. No debe emplearse agua para extinguir incendios de GNL, ya que aumenta su índice de vaporización<sup>27</sup>.
- Todos los sistemas contra incendios se ubicarán en una zona segura dentro de las instalaciones, protegida del fuego por la distancia o por muros contra incendios.
- Se evitarán las atmósferas propensas a explosiones en espacios cerrados haciendo que estos sean inertes.
- Se protegerán las zonas de alojamiento mediante distancias de seguridad o muros contra incendios. Las tomas de aire de ventilación no deben impedir la entrada de humo en las zonas de alojamiento.
- Se implementarán procedimientos de seguridad para la carga y descarga del producto en los sistemas de transporte (por ejemplo, buques, camiones y vagones cisterna, y embarcaciones)<sup>28</sup>, incluido el uso de válvulas de control de seguridad, y equipos y estructuras de parada de emergencia<sup>29</sup>.
- Se proporcionará capacitación y respuesta contra incendios como parte de la instrucción inicial y la formación general del personal sobre salud y seguridad ocupacional, incluido adiestramiento en el uso de equipo de extinción de incendios y la evacuación, y se proporcionará capacitación avanzada en seguridad a un grupo especialmente dedicado a la extinción de incendios.

## 1.2.2 Vuelco

45. El almacenamiento de grandes cantidades de GNL en los tanques puede ocasionar el fenómeno conocido como “vuelco”. El potencial de vuelco en los tanques de almacenamiento de GNL se origina cuando, dentro del tanque, existen capas separadas de GNL de diferentes densidades. Si estas capas se mezclan de forma inapropiada, puede producirse una rápida liberación de vapores de GNL y un rápido aumento de la presión que, en ausencia de válvulas de seguridad, podría causar daños estructurales en el tanque. El vuelco puede producirse por dos motivos: por estratificación inducida en el llenado, causada por la carga de GNL de densidades diferentes en el tanque de almacenamiento, o por autoestratificación, cuando en el GNL existe una cantidad suficiente de nitrógeno de forma tal que, de manera preferente,

<sup>27</sup> Ejemplos de buenas prácticas pueden encontrarse en la norma 59A de la NFPA y otras normas equivalentes.

<sup>28</sup> Un ejemplo de buenas prácticas de la industria para la carga y descarga de buques cisterna es el de ISGOTT.

<sup>29</sup> Ejemplos de buenas prácticas pueden encontrarse en la norma 59A de la NFPA y otras normas equivalentes.

acaba hirviendo y da como resultado una menor densidad bruta de líquido. Entre las medidas recomendadas para evitar el vuelco o reducir al mínimo sus consecuencias figuran las siguientes<sup>30</sup>:

- medir la estratificación mediante el control de la presión, la densidad y la temperatura de los tanques de almacenamiento de GNL en toda la columna de líquidos;
- impedir la estratificación mediante la instalación de un sistema que haga recircular el GNL en el interior del tanque, o instalando múltiples puntos de carga a diferentes niveles del tanque para permitir que el GNL con diferentes densidades se distribuya en su interior;
- instalar válvulas de seguridad de presión diseñadas para adaptarse a las condiciones de vuelco y evitar daños al tanque.

### 1.2.3 Contacto con superficies frías

46. El almacenamiento y manejo del GNL puede exponer al personal al contacto con productos a muy bajas temperaturas. Para reducir los contactos accidentales con el personal, se deberán identificar y proteger adecuadamente (por ejemplo, mediante aislamiento) los equipos de la planta que puedan generar riesgos ocupacionales a causa de las bajas temperaturas. A los trabajadores que manipulan o dispensan GNL (por ejemplo, en las estaciones de servicio de GNL) se les proporcionará capacitación para que sean conscientes de los peligros del contacto con superficies frías (por ejemplo, quemaduras por frío), así como equipamiento de protección personal (por ejemplo, guantes y ropa de trabajo aislante).

### 1.2.4 Riesgos de origen químico

47. El diseño de las instalaciones de GNL debe contribuir a reducir la exposición del personal a las sustancias químicas, combustibles y productos que contengan sustancias peligrosas. Para cada sustancia química empleada se dispondrá de una ficha de datos de seguridad, accesible en todo momento en las instalaciones. En las **guías generales sobre MASS** se presenta un enfoque jerárquico general para la prevención de los efectos provocados por riesgos de origen químico.

48. Las instalaciones deben estar equipadas con un sistema fiable de detección de gas que permita aislar la fuente de las emisiones y reducir el volumen de gas que puede liberarse. Se deberá iniciar la purga de los equipos de presión para reducir la presión del sistema y, por ende, el índice de flujo del escape. Los dispositivos de detección de gas se utilizarán también para autorizar la entrada a espacios cerrados y las operaciones en dichos lugares.

49. Las instalaciones de licuefacción en las que se lleven a cabo operaciones de tratamiento de gas pueden plantear un riesgo de vertidos de sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S). Cuando exista la posibilidad de acumulaciones de H<sub>2</sub>S, se tomarán en consideración las siguientes medidas:

- Elaborar un plan de contingencia para los casos de emisiones de H<sub>2</sub>S, que incluya todos los aspectos apropiados, desde la evacuación hasta la reanudación de la actividad normal.

<sup>30</sup> Véase: *Rollover in LNG Storage Tanks. Summary report* (Vuelco en tanques de almacenamiento de GNL. Informe resumido), segunda edición (2015), del Grupo de Estudio Técnico sobre el Comportamiento del GNL en almacenamiento, del Grupo Internacional de Importadores de Gas Natural Licuado (GIIGNL), [http://www.giignl.org/sites/default/files/PUBLIC\\_AREA/Publications/rollover\\_in\\_lng\\_storage\\_tanks\\_public\\_document\\_low-res.pdf](http://www.giignl.org/sites/default/files/PUBLIC_AREA/Publications/rollover_in_lng_storage_tanks_public_document_low-res.pdf).

- Instalar monitores preparados para activar señales de alerta cuando se detecten concentraciones de H<sub>2</sub>S que excedan los 7 miligramos por metro cúbico<sup>31</sup>. El número y emplazamiento de los monitores se determinará a partir de una evaluación de la ubicación de las plantas más propensas a la emisión de H<sub>2</sub>S y a la exposición de los trabajadores.
- Dotar a los trabajadores de detectores personales de H<sub>2</sub>S en lugares de alto riesgo de exposición, junto con aparatos respiratorios autónomos y un suministro de oxígeno de emergencia ubicados de modo que el personal pueda interrumpir de forma segura sus tareas y llegar a un refugio temporal.
- Proporcionar sistemas adecuados de ventilación en los edificios ocupados y sistemas de seguridad apropiados (por ejemplo, esclusas, parada de la ventilación por detección de gas) para evitar la acumulación de H<sub>2</sub>S.
- Capacitar al personal sobre el uso de los equipos de seguridad y la respuesta en caso de fugas.

### 1.2.5 Espacios cerrados

50. Los peligros asociados con los espacios cerrados en este y en otros sectores industriales son potencialmente letales. El ingreso de los trabajadores a espacios cerrados de las terminales de GNL y las probabilidades de que se produzcan accidentes pueden variar de unas terminales a otras en función del diseño, los equipos del emplazamiento y la infraestructura. Los espacios cerrados pueden ser tanques de almacenamiento, zonas de contención secundaria e infraestructura de manejo de aguas pluviales o aguas residuales. En estas instalaciones se deben formular y aplicar procedimientos para el ingreso a espacios reducidos, tal como se describe en las **guías generales sobre MASS**.

### 1.3 Salud y seguridad de la comunidad

51. Las consecuencias que la construcción, la operación y el desmantelamiento de las instalaciones pueden acarrear para la salud y seguridad de la comunidad son similares a las de la mayoría de los establecimientos industriales y se explican en las **guías generales sobre MASS**.

52. Los impactos en la salud y la seguridad de la comunidad durante las operaciones de una planta de GNL o el transporte de GNL están relacionados con las posibles fugas accidentales de gas natural, ya sea en estado líquido o gaseoso. El gas inflamable o la radiación del calor y el exceso de presión pueden afectar a zonas de comunidades fuera de los límites de la planta, aunque la probabilidad de que se produzcan eventos de gran magnitud directamente asociados con las operaciones de almacenamiento en instalaciones bien diseñadas y gestionadas suele ser muy baja<sup>32</sup>. La distribución de una planta de GNL y la distancia de separación entre las instalaciones y la población general o las instalaciones vecinas fuera de los límites de la planta de GNL se basará en una evaluación de los riesgos de incendios de GNL

<sup>31</sup> Concentración máxima admisible de exposición profesional. Límite de exposición a corto plazo, American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales, ACGIH).

<sup>32</sup> La evaluación y el control de riesgos para la comunidad deben cumplir las normas reconocidas internacionalmente, como por ejemplo la UNE-EN 1473:2016. Se estudiará la posibilidad de adoptar la definición de distancias de protección para el almacenamiento de GNL y otras instalaciones —por ejemplo, Departamento de Transporte de los Estados Unidos, Administración de la Seguridad de Conductos y Materiales Peligrosos, Title 49, Part 193.16— para proteger las zonas circundantes.

(protección térmica frente a la radiación), nubes de vapor (protección frente a la dispersión de vapor inflamable) y otros peligros significativos.

53. Las plantas de GNL deberán elaborar un plan de preparación y respuesta ante emergencias que tenga en cuenta el papel de las comunidades y de la infraestructura comunitaria en caso de producirse una fuga de GNL o una explosión. Se estudiará el tráfico de embarcaciones, especialmente el que tiene lugar en los muelles de carga y descarga, asociado con las instalaciones de GNL con respecto a las pautas y actividades del tráfico marítimo local. Para la ubicación de las instalaciones de carga y descarga de embarcaciones también se deberá tener en cuenta la presencia de otros corredores de transporte y actividades marítimas en la zona (por ejemplo, pesca, actividades recreativas). Los conductores de camiones cisterna y remolques de GNL deben recibir formación sobre seguridad vial y planes de respuesta en caso de emergencia. Las **guías generales sobre MASS** contienen información adicional sobre los elementos necesarios de los planes de emergencia. Las estrategias generales de manejo de la seguridad en el transporte descritas en la **guía sobre MASS para transporte marítimo** también son aplicables al transporte de GNL por mar.

### 1.3.1 Seguridad

54. Se deberá impedir el acceso no autorizado a las instalaciones mediante una valla situada en el perímetro de las instalaciones y puntos de acceso controlado (entradas vigiladas). Se aplicarán controles para el acceso público. Se establecerán las zonas donde comiencen los controles de seguridad en los límites del predio mediante señalización y el cerramiento adecuado del área. Mediante señales de tránsito se designarán claramente las entradas exclusivas para camiones y entregas y las entradas para vehículos de visitantes y empleados. Se estudiará la posibilidad de instalar medios para la detección de intrusos (por ejemplo, circuitos cerrados de televisión). Para maximizar las oportunidades de vigilancia y minimizar las posibilidades de entrada de intrusos, la planta dispondrá de un sistema de alumbrado adecuado.

## 2. SEGUIMIENTO DE LOS INDICADORES DE DESEMPEÑO

### 2.1 Medio ambiente

#### 2.1.1 Guía sobre emisiones y efluentes

55. Las emisiones a la atmósfera procedentes de las instalaciones de GNL deberán controlarse mediante la aplicación de las técnicas descritas en la sección 1.1 de la presente guía. En el cuadro 1 se presenta una guía sobre los efluentes. Los valores de la guía correspondientes a los efluentes de los procesos industriales en este sector corresponden a las buenas prácticas internacionales para la industria, reflejadas en las normas correspondientes de los países que cuentan con marcos regulatorios reconocidos. Las **guías generales sobre MASS** contienen orientaciones sobre las emisiones de procesos de combustión asociadas con la recuperación de calor, vapor o actividades de producción de energía eléctrica generadas por fuentes con capacidad igual o inferior a 50 MWt, mientras que en la **guía sobre MASS para las plantas de energía térmica** se describen las disposiciones sobre emisiones generadas por fuentes de energía con una capacidad superior.

CUADRO 1: NIVELES DE EFLUENTES PARA LAS PLANTAS DE GNL	
PARÁMETRO	VALOR
<b>Agua de pruebas hidrostáticas</b>	<p>Tratamiento y eliminación según las recomendaciones de la sección 1.1 de este documento. Para la descarga en aguas superficiales o en tierra:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Contenido total de hidrocarburos: 10 mg/L</li> <li>○ pH: 6-9</li> <li>○ BOD: 25 mg/L</li> <li>○ COD: 125 mg/L</li> <li>○ TSS: 35 mg/L</li> <li>○ Fenoles: 0,5 mg/L</li> <li>○ Sulfuros: 1 mg/L</li> <li>○ Metales contaminantes prioritarios<sup>a</sup> (total): 5 mg/L</li> </ul> <p>Cloruros<sup>b</sup>: 600 mg/L (promedio), 1200 mg/L (máximo)</p>
<b>Drenaje de aguas pluviales contaminadas</b>	<p>La escorrentía de aguas pluviales contaminadas debe tratarse mediante un sistema de separación de agua y aceite capaz de alcanzar concentraciones de aceite y grasa que no excedan los 10 mg/L.</p>
<b>Agua fría o de refrigeración</b>	<p>El efluente deberá dar lugar a un cambio de temperatura de no más de 3 °C en el borde de una zona de mezcla científicamente establecida que tenga en cuenta la calidad del agua ambiente, el uso del agua receptora, los posibles receptores y la capacidad de asimilación.</p> <p>La concentración de cloro libre (oxidantes residuales totales en las aguas de estuario o marinas) en las descargas de agua fría o de refrigeración (de la que se tomarán muestras en el punto de descarga) se mantendrá por debajo de 0,2 partes por millón (ppm).</p>
<b>Alcantarillado</b>	<p>Tratamiento según las recomendaciones de las <b>guías generales sobre MASS</b>, incluidos los requisitos de descarga. Puede ser necesario disponer de instalaciones para recibir los efluentes de los camiones cisterna de GNL (véase la <b>guía sobre MASS para puertos y zonas y terminales portuarias</b>).</p>
<b>Notas:</b>	
<p><sup>a</sup> Son los siguientes: Ag, As, Be, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, Tl, Zn.  <sup>b</sup> Para descarga en agua dulce.</p>	

### 2.1.2 Uso de recursos y consumo de energía

56. El cuadro 2 contiene ejemplos de indicadores de consumo de recursos y energía para el sector. Los valores de referencia de la industria se consignan únicamente con fines comparativos, y cada proyecto debería tener como objetivo lograr mejoras continuas en estas áreas. Se presentan aquí como punto de referencia para permitir a los administradores de las instalaciones determinar la eficiencia relativa del proyecto y para que puedan servir también a la hora de evaluar los cambios en el desempeño a lo largo del tiempo.

CUADRO 2: CONSUMO DE ENERGÍA		
PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR DE REFERENCIA DE LA INDUSTRIA
Consumo de energía - Proceso de licuefacción de GNL	kWh/ton GNL	275-400 <sup>a</sup>
<b>Notas:</b>		
<sup>a</sup> Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE), 2014.		

### 2.1.3 Seguimiento ambiental

57. Se deben realizar programas de seguimiento ambiental en este sector para abordar todas las actividades que, según se ha determinado, puedan tener impactos considerables en el medio ambiente, durante las operaciones normales y en condiciones anómalas. Las actividades de seguimiento ambiental se basarán en indicadores directos e indirectos de emisiones, efluentes y uso de recursos aplicables al proyecto concreto.

58. La frecuencia del seguimiento debería permitir obtener datos representativos sobre los parámetros que se están observando. El seguimiento deberá estar a cargo de personas capacitadas, quienes deberán aplicar procedimientos de seguimiento y registro y utilizar equipos adecuadamente calibrados y en buen estado de mantenimiento. Los datos de seguimiento se analizarán y revisarán con regularidad, y se compararán con las normas de operaciones para adoptar las medidas correctivas necesarias. Las **guías generales sobre MASS** contienen orientaciones adicionales sobre los métodos de muestreo y análisis aplicables a las emisiones y efluentes.

## 2.2 Salud y seguridad ocupacional

### 2.2.1 Guía sobre salud y seguridad ocupacional

59. Para evaluar el desempeño en materia de salud y seguridad ocupacional deben utilizarse las directrices sobre exposición publicadas en el ámbito internacional, como las guías sobre la concentración máxima admisible de exposición profesional (TLV®) y los índices biológicos de exposición (BEIs®) publicados por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales<sup>33</sup>, la *Guía de bolsillo sobre riesgos químicos* publicada por el Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional de Estados Unidos<sup>34</sup>, los límites permisibles de exposición publicados por la Administración de Seguridad e Salud Ocupacional de Estados Unidos<sup>35</sup>, los valores límite indicativos de exposición profesional publicados por los Estados miembros de la Unión Europea<sup>36</sup>, u otras fuentes similares.

<sup>33</sup> <http://www.acgih.org/store/>.

<sup>34</sup> <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>.

<sup>35</sup> [http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_table=STANDARDS&p\\_id=9992](http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992).

<sup>36</sup> <https://osha.europa.eu/es/legislation/directives/exposure-to-chemical-agents-and-chemical-safety/osh-related-aspects/council-directive-91-414-ee>.

## 2.2.2 Tasas de accidentes y muertes

60. Un objetivo de los proyectos debe ser tratar de reducir el número de accidentes entre los trabajadores del proyecto (ya sean empleados directos o personal subcontratado) a una tasa cero, especialmente los accidentes que pueden causar pérdidas de horas de trabajo, diversos niveles de discapacidad o incluso la muerte. Como punto de referencia para evaluar las tasas de accidentes y muertes de la instalación específica se puede utilizar el desempeño de instalaciones similares de este sector en países desarrollados, que se obtiene consultando las fuentes publicadas (por ejemplo, a través de la Oficina de Estadísticas Laborales de los Estados Unidos y el Comité Ejecutivo de Salud y Seguridad del Reino Unido)<sup>37</sup>.

## 2.2.3 Seguimiento de la salud y seguridad ocupacional

61. Es preciso realizar un seguimiento de los peligros que pueden correr los trabajadores en el entorno laboral del proyecto concreto. Las actividades de seguimiento deben ser diseñadas y realizadas por profesionales acreditados<sup>38</sup>, como parte de un programa de seguimiento de la salud y la seguridad ocupacional. En las instalaciones, además, debe llevarse un registro de los accidentes y enfermedades laborales, así como de los eventos y accidentes peligrosos. Las **guías generales sobre MASS** contienen orientaciones adicionales sobre los programas de seguimiento de la salud y la seguridad ocupacional.

## 3. REFERENCIAS Y FUENTES ADICIONALES

ABS Consulting (2004), *Consequence Assessment Methods for Incidents Involving Releases from Liquefied Natural Gas Carriers*, informe para la Comisión Federal Reguladora de Energía, Houston, TX.

American Petroleum Institute (API) (2003), *Recommended Practice. Protection Against Ignitions Arising out of Static, Lightning, and Stray Currents*. API RP 2003. Washington, DC.

Aspen Environmental Group (2005), *International and National Efforts to Address the Safety and Security Risks of Importing Liquefied Natural Gas: A Compendium. Prepared for California Energy Commission*, Sacramento, CA.

California Energy Commission (2003), *Liquefied Natural Gas in California: History, Risks, and Siting*, documento técnico del personal n.º 700-03-005, Sacramento, CA,  
<http://www.energy.ca.gov/publications/index.php>.

Center for Energy Economics (CEE) (2003), *Introduction to LNG. An Overview on Liquefied Natural Gas (LNG), its Properties, the LNG Industry, Safety Considerations*, Sugar Land, TX,  
<http://www.beg.utexas.edu/energyecon>.

<sup>37</sup> <http://www.bls.gov/iif/> and <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>.

<sup>38</sup> Los profesionales acreditados pueden ser higienistas industriales certificados, higienistas ocupacionales diplomados o profesionales de la seguridad certificados, o sus equivalentes.

——— (2006), *LNG Safety and Security*, Sugar Land, TX,  
[http://www.beg.utexas.edu/energyecon/lng/documents/CEE\\_LNG\\_Safety\\_and\\_Security.pdf](http://www.beg.utexas.edu/energyecon/lng/documents/CEE_LNG_Safety_and_Security.pdf).

Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE) (2014), *Current Status and Perspectives for LNG in the UNECE Region*, <http://www.unece.org/energy/se/lng.html>.

Departamento de Seguridad Nacional de los Estados Unidos, Guardia Costera, *Code of Federal Regulations (CFR), Title 33: Navigation and Navigable Waters, Part 127: Waterfront Facilities Handling Liquefied Natural Gas and Liquefied Hazardous Gas*, Washington, DC, <http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=b52b35cc7a3e8cebd4e6e58e2eb97141&mc=true&node=pt33.2.127&rgn=div5>.

Departamento de Transporte de los Estados Unidos, Administración de la Seguridad de Conductos y Materiales Peligrosos (2006), *Code of Federal Regulations (CFR), Title 49: Transportation. Part 193: Liquefied Natural Gas Facilities: Federal Safety Standards*, Washington, DC, <http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=cd21c092380ea207143329726734e8ca&mc=true&node=pt49.3.193&rgn=div5>  
<http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=cd21c092380ea207143329726734e8ca&mc=true&node=pt49.3.193&rgn=div5>  
<http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=cd21c092380ea207143329726734e8ca&mc=true&node=pt49.3.193&rgn=div5>.

International Petroleum Industry Environmental Conservation Association (IPIECA) (2008), *Guide to Tiered Preparedness and Response*, vol. 8 de *Oil Spill Preparedness and Response*, Londres, <http://www.ipieca.org>.

*International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals (ISGOTT)* (2006), quinta edición, ICS & OCIMF, Witherbys Publishing, Londres.

Kidnay, A. J, y W. R. Parrish (2006), *Fundamentals of Natural Gas Processing*, CRC Press, Boca Raton, FL.

National Fire Protection Association (NFPA) (2013), *NFPA 52, Vehicular Gaseous Fuel Systems Code*, Quincy, MA.

——— (NFPA) (2016), *NFPA 59A, Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas*, Quincy, MA.

Nova Scotia Department of Energy (2005), *Code of Practice. Liquefied Natural Gas Facilities*. Halifax, Nova Scotia, <http://www.gov.ns.ca/energy>.

Organización Marítima Internacional (OMI) (1978), MARPOL 73/78, *Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques*, 1973, modificado por el Protocolo de 1978, Londres.

——— (2016), *Código Internacional de Gaseros (Código CIG)*, Londres, <http://www.imo.org/publications>.

Sandia National Laboratories (2004), *Guidance on Risk Analysis and Safety Implications of a Large Liquefied Natural Gas (LNG) Spill Over Water*, SAND2004-6258, diciembre de 2004, Albuquerque, NM, y Livermore, CA.

Society of International Gas Tanker and Terminal Operators (SIGTTO) (1997), *Site Selection and Design of LNG Ports and Jetties*, Londres, <http://www.sigtto.org>.

—— (1999), *Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals*, tercera edición, Londres.

—— (2000), *Safety in Liquefied Gas Marine Transportation and Terminal Operations*, Londres, <http://www.sigtto.org>.

Unión Europea, Norma Europea UNE-EN 13645:2003, *Instalaciones y equipamiento para gas natural licuado. Diseño de instalaciones terrestres con capacidad de almacenamiento comprendida entre 5 t a 200 t*, última edición, Bruselas.

——, Norma Europea UNE-EN 1473:2016, *Instalaciones y equipos para gas natural licuado. Diseño de las instalaciones terrestres*, última edición, Bruselas.

## **ANEXO A: DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS ACTIVIDADES DE LA INDUSTRIA**

62. La licuefacción del gas natural genera una reducción notable de su volumen, lo que permite almacenar y transportar grandes volúmenes de gas natural licuado (GNL) en embarcaciones. La cadena de GNL incluye las siguientes fases de actividad:

- Fase 1: Producción del gas natural (actividades e instalaciones iniciales)
- Fase 2: Transporte del gas natural a plantas de procesamiento y licuefacción
- Fase 3: Tratamiento del gas natural (deshidratación, eliminación del sulfuro de hidrógeno [H<sub>2</sub>S], etc.)
- Fase 4: Licuefacción del gas natural
- Fase 5: Carga del GNL en buques de transporte de GNL y traslado hasta las terminales receptoras
- Fase 6: Descarga y almacenamiento del GNL en las terminales receptoras
- Fase 7: Regasificación del GNL por medio de intercambio de calor
- Fase 8: Distribución del gas natural a la red a través de gasoductos de transmisión y a instalaciones de abastecimiento de gas natural licuado para el transporte por carretera y ferrocarril, y para aplicaciones no viarias (camiones mineros)

63. Antes de ser utilizado, el gas natural sin tratar se “acondiciona” para eliminar los hidrocarburos más pesados y los componentes no deseados o impurezas. El acondicionamiento del gas puede llevarse a cabo en instalaciones separadas o autónomas o en instalaciones integradas en la planta de licuefacción de GNL, y suele consistir en la extracción de los hidrocarburos más pesados, como el gas licuado de petróleo, y de líquidos de gas natural, como el propano y el butano. El gas acondicionado (gas rico en metano) se trata entonces en instalaciones de licuefacción de GNL. Para poder transportarlo, el GNL se enfría a aproximadamente -162 °C, momento en el que se condensa en forma de líquido a presión atmosférica, su volumen original se reduce en torno a 1/600 y alcanza una densidad de 420 a 490 kilogramos por metro cúbico.

## **A.1 Licuefacción del gas natural**

64. En el gráfico A.1 se muestra un diagrama de flujos de una planta convencional de licuefacción de GNL de base. El proceso y los servicios requeridos dependen de las condiciones del emplazamiento, la calidad del gas de alimentación y la especificación del producto. Por lo general, el gas de alimentación se suministra a través de gasoductos a alta presión (de hasta 90 bar) desde los yacimientos originales de producción de gas, y se procede a su estabilización y a la eliminación de los condensados asociados. Luego se realiza la medición del gas y se controla la presión para ajustarla a la presión operativa predeterminada de la planta.

65. El gas se somete a tratamiento previo para eliminar las impurezas que puedan interferir con el procesamiento o que no deban estar presentes en los productos finales. Este tratamiento incluye el endulzamiento (eliminación de gases ácidos y compuestos de azufre —por ejemplo, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y mercaptanos—, eliminación de mercurio y otros restos contaminantes, cuando sea necesario) y la deshidratación (eliminación de agua).

66. El gas dulce seco se enfría mediante corrientes refrigerantes para separar los hidrocarburos más pesados. El gas tratado se somete a múltiples fases de enfriamiento por intercambio indirecto de calor con uno o más refrigerantes, proceso durante el cual la temperatura del gas se reduce progresivamente hasta completar la licuefacción. El GNL presurizado se expande más y se subenfía en una o más fases para facilitar su almacenamiento ligeramente por encima de la presión atmosférica. Durante este proceso se reciclan los vapores de expansión instantánea y los BOG. El GNL resultante se almacena en tanques atmosféricos listos para su exportación en barco.

67. Los hidrocarburos más pesados que puedan separarse durante el enfriamiento se fraccionan y recuperan. El etano se reinyecta a veces en la corriente de gas para ser licuado. El propano y el butano pueden reinyectarse o exportarse como productos de gases licuados del petróleo (GLP), mientras que el pentano (o compuestos más pesados) puede exportarse como producto de gasolina.

68. Los procesos de licuefacción aplican principalmente la refrigeración mecánica, durante la cual el calor se transfiere desde el gas natural, mediante superficies de intercambio térmico, hasta un sistema de refrigeración separado por compresión de vapor en circuito cerrado. Se han desarrollado distintos procesos para el GNL, contándose entre los más habituales:

- la cascada, donde se emplean varios circuitos refrigerantes separados con distintos fluidos de componente único, como por ejemplo el propano, el etileno y el metano;
- refrigerante mezclado, que utiliza una combinación de nitrógeno e hidrocarburos ligeros.

69. Los recursos clave necesarios para las unidades de procesamiento incluyen:

- gas de combustión (derivado de las corrientes de proceso) para generar electricidad;
- medio refrigerante (por ejemplo, agua, aire);
- medio de calefacción (vapor o sistema de aceite caliente).

## A.2 Transporte del GNL

70. El GNL se transporta desde la planta de licuefacción hasta las terminales de regasificación mediante transportadores de GNL especialmente diseñados cuya capacidad suele oscilar entre los 80 000 m<sup>3</sup> y los 260 000 m<sup>3</sup>. Los tanques a bordo de buques funcionan como grandes contenedores de tipo termo (*pseudo-dewar*), que permiten mantener el GNL en estado líquido durante su transporte. En los tanques se produce una cantidad muy reducida de gas, el cual se recoge para impedir el incremento gradual de presión, pudiendo emplearse como combustible para el transportador. En los nuevos transportadores de GNL se utilizan cuatro sistemas de contención, permanentemente sometidos a supervisión para detectar la presencia de gas y cambios de temperatura<sup>39</sup>:

- Dos diseños autónomos:
  - tanque esférico (Moss);
  - tanque prismático.
- Diseños de doble membrana (TGZ Mark III y GT96). Los tanques de membrana utilizan dos membranas flexibles de acero (primaria y secundaria) para contener el cargamento.

## A.3 Terminal de regasificación de GNL en tierra

71. Las terminales de regasificación de GNL suelen disponer de los siguientes sistemas:

- un sistema de descarga de GNL, incluidos muelles y atracadero;
- tanques de almacenamiento de GNL;
- bombas de GNL en el tanque y externas;
- sistema de manejo de vapor;
- vaporizadores de GNL.

72. El GNL se transfiere hasta las líneas de descarga y los tanques de GNL en tierra mediante las bombas de las embarcaciones. Durante la descarga de los buques, el vapor generado por desplazamiento en el tanque de almacenamiento se devuelve a los tanques de cargamento de los buques mediante una línea de retorno de vapor y un cargador de brazo, manteniendo una presión positiva en el buque. Se instalan uno o más tanques de gran capacidad para recibir y almacenar el GNL.

73. Durante la operación normal se produce BOG en los tanques y conductos llenos de líquido a causa de la transferencia térmica del entorno. Habitualmente, el BOG se recoge para recondensarlo en la corriente de GNL. La cantidad de vapor generado durante la descarga de los buques es más elevada. El vapor se canaliza desde el tambor de succión del compresor hasta las líneas de retorno de vapor al buque o a los compresores de BOG. El vapor que no se devuelve al buque normalmente se comprime y canaliza hacia el recondensador.

<sup>39</sup> Las características pertinentes y detalladas de los tanques figuran en los documentos orientativos y especificaciones de diseño elaboradas por la SIGTTO.

74. El GNL de los tanques de almacenamiento se envía al recondensador por medio de bombas que operan desde el interior de los tanques. El BOG generado durante la operación de la planta también se canaliza hasta este depósito, donde se mezcla con el GNL subenfriado y condensado.

75. Las bombas de emisión multifásicas de alta presión toman el GNL desde el recondensador y lo llevan a los vaporizadores, donde el intercambio de calor entre el GNL y el medio de calentamiento permite vaporizar el GNL a alta presión, y el gas generado se envía directamente a la línea de exportación. Los vaporizadores más habituales son:

- vaporizadores de bastidor abierto (ORV), que utilizan agua marina para calentar y vaporizar el GNL;
- vaporizadores de combustión sumergida (SCV), que utilizan quemadores alimentados con gas de envío para generar calor para la vaporización;
- vaporizadores de carcasa y tubo (o de fluido intermedio), en los que se dispone de una fuente de calor externa.

#### **A.4 Sistemas de venteo y quema de gas**

76. En caso de condiciones extremas de reducción de actividades o emergencia, puede generarse BOG en cantidades que excedan la capacidad del recondensador. En tales casos, el BOG se libera a la atmósfera mediante venteo o quema de gas. Si se implementa el venteo de emergencia, habrá de tomarse en cuenta el metano frío que puede caer después de la descarga por venteo, para evitar que alcance el límite inferior de inflamabilidad.

#### **A.5 Terminal receptora marítima de GNL**

77. A continuación, se indican los distintos diseños para las instalaciones marinas de GNL:

- estructuras basadas en la gravedad (GBS);
- unidades flotantes de regasificación y almacenamiento (FSRU);
- unidades flotantes de regasificación (FRU);
- sistemas de amarre con regasificación.

78. Las GBS son estructuras fijas de hormigón situadas en el fondo del mar, encima de las cuales se sitúan las instalaciones de la planta.

79. Una FSRU es un buque transportador de GNL modificado para albergar los sistemas de regasificación. Se trata de estructuras flotantes ancladas en el lecho marino por medio de una torreta de amarre. Los sistemas requeridos para el bombeo de GNL, la vaporización, la manipulación del BOG y la exportación de gas natural a tierra se ubican en la cubierta de la FSRU.

80. El concepto de FRU se basa en la conversión de un transportador de crudo que se modifica para disponer de una plataforma para el proceso de regasificación y para permitir el atraque y la descarga de GNL desde los transportadores de GNL. El FRU tiene una capacidad nula o limitada de almacenamiento de GNL, de modo que el GNL recibido del transportador se vaporiza y transfiere instantáneamente. Un

gran volumen de almacenamiento de gas también permite que la unidad funcione como instalación de respuesta a los picos de demanda.

81. Los sistemas de amarre con regasificación pueden consistir en:

- Un sistema de amarre de punto único (SPM), en el que las superestructuras de las instalaciones de regasificación se emplazan sobre la estructura de una torre fija. El transportador de GNL debe amarrarse por medio de una estructura de brazo giratorio en la torre fija. El transportador descarga lentamente el GNL en la torre de SPM, donde el GNL se vaporiza y transfiere simultáneamente a través del gasoducto.
- Un sistema de amarre de torreta desconectable, que consiste en un sistema de amarre y descarga que permite la descarga a alta presión desde un transportador de GNL con una planta de regasificación a bordo.

### A.6 Instalaciones de abastecimiento de GNL

82. Las estaciones de servicio de GNL generalmente reciben su suministro de GNL de una planta de licuefacción a través de camiones cisterna diseñados para distribuir combustibles criogénicos. En la instalación de abastecimiento de combustible, el GNL se descarga en el sistema de almacenamiento de la instalación. En la mayoría de las estaciones de GNL, el combustible pasa a través de una bomba a un vaporizador de aire ambiental que sirve como intercambiador térmico. En este vaporizador se aumenta la temperatura del GNL. La presión aumenta a estas temperaturas, pero el combustible permanece en estado líquido. Este proceso se denomina acondicionamiento. Después del acondicionamiento, el GNL se almacena en grandes recipientes criogénicos cuya configuración puede ser horizontal o vertical, y cuya capacidad normalmente oscila entre los 30 m<sup>3</sup> y los 100 m<sup>3</sup>. Cuando es necesario, el GNL se dispensa en forma de líquido en tanques criogénicos a bordo del vehículo, a presiones de hasta 20 bar.

