

Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para las plantas de gas natural licuado (GNL)

Introducción

Las guías sobre medio ambiente, salud y seguridad (MASS) son documentos de referencia técnica que contienen ejemplos generales y específicos de la práctica internacional recomendada para la industria en cuestión¹. Cuando uno o más miembros del Grupo del Banco Mundial participan en un proyecto, estas guías sobre MASS se aplican con arreglo a los requisitos de sus respectivas políticas y normas. Las presentes guías sobre MASS para este sector de la industria deben usarse junto con el documento que contiene las **guías generales sobre MASS**, en el que se ofrece orientación a los usuarios respecto de cuestiones generales sobre la materia que pueden aplicarse potencialmente a todos los sectores industriales. Los proyectos más complejos podrían requerir el uso de múltiples guías para distintos sectores de la industria. Para una lista completa de guías sobre los distintos sectores de la industria, visitar: <http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines>

Las guías sobre MASS contienen los niveles y los indicadores de desempeño que generalmente pueden lograrse en instalaciones nuevas, con la tecnología existente y a costos razonables. En lo que respecta a la posibilidad de aplicar estas

guías a instalaciones ya existentes, podría ser necesario establecer metas específicas del lugar así como un calendario adecuado para alcanzarlas. La aplicación de las guías debe adaptarse a los peligros y riesgos establecidos para cada proyecto sobre la base de los resultados de una evaluación ambiental en la que se tengan en cuenta las variables específicas del emplazamiento, tales como las circunstancias del país receptor, la capacidad de asimilación del medio ambiente y otros factores relativos al proyecto. La decisión de aplicar recomendaciones técnicas específicas debe basarse en la opinión profesional de personas idóneas y con experiencia. En los casos en que el país receptor tenga reglamentaciones diferentes a los niveles e indicadores presentados en las guías, los proyectos deben alcanzar los que sean más rigurosos. Cuando, en vista de las circunstancias específicas de cada proyecto, se considere necesario aplicar medidas o niveles menos exigentes que aquellos proporcionados por estas Guías sobre MASS, será necesario aportar una justificación exhaustiva y detallada de las alternativas propuestas como parte de la evaluación ambiental en un sector concreto. Esta justificación debería demostrar que los niveles de desempeño escogidos garantizan la protección de la salud y el medio ambiente.

Aplicabilidad

Las guías sobre MASS para las plantas de gas natural licuado (GNL) contienen información relevante sobre las plantas de licuefacción de GNL de base, el transporte por mar y las terminales de regasificación y nivelación de gas de punta. Las guías sobre MASS para puertos y terminales ofrecen recomendaciones adicionales para las plantas costeras de

¹ Definida como el ejercicio de la aptitud profesional, la diligencia, la prudencia y la previsión que podrían 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 los profesionales idóneos y con experiencia 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 grados de degradación ambiental y de capacidad de asimilación del medio ambiente, así como diversos niveles de factibilidad financiera y técnica.

GNL, incluidos puertos, diques e instalaciones costeras en general (p. ej. bases marítimas de suministro de terminales costeras, terminales de carga / descarga). Las guías sobre MASS para transporte contienen recomendaciones sobre cuestiones de MASS relacionadas con los buques. Las presentes guías no abarcan las cuestiones relativas a la producción y almacenamiento de GLP/condensado en las plantas de licuefacción. Este documento está dividido en las siguientes secciones:

- Sección 1.0: Manejo e impactos específicos de la industria
- Sección 2.0: Indicadores y seguimiento del desempeño
- Sección 3.0: Referencias y fuentes adicionales
- Anexo A: Descripción general de las actividades de la industria

1.0 Manejo e impactos específicos de la industria

La siguiente sección contiene una síntesis de las cuestiones relativas al medio ambiente, la salud y la seguridad asociadas con las plantas de GNL, así como recomendaciones para su manejo. Estas cuestiones pueden tener relevancia para las actividades calificadas de aplicables para la presente guía. Las **guías generales sobre MASS** ofrecen recomendaciones adicionales para el manejo de las cuestiones de este tipo que son comunes a la mayoría de las grandes plantas industriales durante la etapa de construcción.

1.1 Medio ambiente

Las siguientes cuestiones ambientales deben tenerse en cuenta como parte de una evaluación exhaustiva y un programa de gestión que haga frente a los riesgos e impactos potenciales específicos del proyecto. Los posibles problemas ambientales asociados con las plantas de GNL incluyen:

- Amenazas a los medios acuáticos y costeros
- Gestión de materiales peligrosos
- Aguas residuales
- Emisiones a la atmósfera
- Manejo de residuos
- Ruido
- Transporte de GNL

Amenazas a los medios acuáticos y costeros

La construcción y el dragado de mantenimiento, la eliminación de los desechos de dragado, la construcción de diques, muelles, rompeolas y otras estructuras fluviales, y la erosión, pueden generar impactos a corto y largo plazo en los hábitats acuáticos y costeros. Los impactos directos pueden incluir la eliminación o cobertura física del fondo marino, la costa o el

hábitat en tierra, mientras que los impactos indirectos pueden resultar de los cambios en la calidad del agua provocados por la suspensión de sedimentos o las descargas de aguas pluviales y aguas residuales. Además, la descarga de agua de lastre y sedimentos de los buques durante las operaciones de carga de GNL pueden derivar en la introducción de especies acuáticas invasivas. Las **guías sobre MASS para puertos, zonas portuarios y terminales** ofrecen recomendaciones adicionales para las plantas costeras de GNL, incluidos puertos, diques e instalaciones costeras en general (p. ej. bases marítimas de suministro de terminales costeras, terminales de carga / descarga).

Gestión de materiales peligrosos

El almacenamiento, traslado y transporte de GNL puede causar fugas o vertidos accidentales procedentes de tanques, tuberías, mangueras y bombas en las instalaciones en tierra y en los buques 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 las características ignífugas de su gas de evaporación.

Además de las recomendaciones para el manejo de los materiales peligrosos y el aceite presentadas en las **guías generales sobre MASS**, las medidas para gestionar este tipo de riesgos incluyen:

- Los tanques y componentes de almacenamiento (p. ej. tuberías, válvulas y bombas) deben cumplir las normas internacionales para la integridad del diseño estructural y el desempeño operativo para evitar los fallos catastróficos y prevenir incendios y explosiones durante las operaciones normales y la exposición a los peligros naturales. Las normas internacionales aplicables pueden consistir en disposiciones relativas a la protección frente a desbordamientos, contención secundaria, dosificación y

control de flujos, protección frente a incendios (incluidos los dispositivos corta-llamas) y puesta a tierra (para evitar las cargas electroestáticas)²;

- Los depósitos de almacenamiento y sus componentes (p. ej. techos y juntas) deberán inspeccionarse periódicamente para comprobar la presencia de corrosión y la integridad estructural. Asimismo, se llevará a cabo un mantenimiento y sustitución regulares de los equipos (p. ej. conductos, juntas, conectores y válvulas)³. Debe instalarse un sistema de protección catódico para evitar o minimizar la corrosión en caso necesario;
- Personal debidamente capacitado llevará a cabo las actividades de carga / descarga (p. ej. la transferencia de cargamentos entre los transportadores y las terminales de GNL) según los procedimientos formales establecidos para prevenir los vertidos accidentales y los riesgos de incendio / explosiones. Los procedimientos incluirán todos los aspectos de las operaciones de envío o carga desde la llegada hasta la salida, la conexión de los sistemas puestos a tierra, la verificación de una adecuada conexión y desconexión de las mangueras, el cumplimiento de las políticas de prohibición de fumar y fuegos abiertos para el personal y los visitantes⁴.

² Ver el Código Federal de Regulaciones (CFR) de Estados Unidos, CFR 4049 Parte 193: Liquefied Natural Gas Facilities: Federal Safety Standards (2006), la Norma Europea (NE) 1473: Instalación y equipos para gas natural licuado – Diseño para las instalaciones terrestres (1997) y la Norma 59A de la NFPA (Asociación Nacional contra el Fuego de Estados Unidos), Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas (2001,2006).

³ Existen diversos procedimientos para inspeccionar los tanques. La inspección visual puede revelar grietas y fugas en los tanques. El análisis de rayos X o ultrasónico 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 picaduras puede emplearse una combinación de flujos de remolino de campo magnético y análisis ultrasónicos.

⁴ Ejemplos de buenas prácticas para la carga y descarga de GNL incluyen Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals – 3ª edición (2000), de la Sociedad Internacional de Armadores de Buques Gaseros y Operadores de Terminales (SIGTTO) y el Código Federal de Regulaciones (CFR) de Estados Unidos, CFR 33 Parte 127: Waterfront facilities handling liquefied natural gas and liquefied hazardous gas.

Vertidos

El GNL es un líquido criogénico (-162°C [-259°F]) que no resulta inflamable en estado líquido. No obstante, al calentarse el GNL se forman gases de evaporación (metano), que en ciertas circunstancias pueden generar una nube de vapor en caso de liberarse. Los vertidos incontrolados de GNL pueden provocar incendios de charcos y dardos de fuego en presencia de una fuente de ignición, o bien nubes de vapor de metano potencialmente inflamables (fogonazos) ya estén confinados o no y en presencia de una fuente de ignición. El GNL vertido directamente sobre una superficie caliente (como el agua⁵) podría provocar un brusco cambio de fase denominado Transición de fase rápida (RPT, por sus siglas en inglés)⁶.

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 y responder a los vertidos de GNL:

- Llevar a cabo una evaluación de riesgos de vertido para las instalaciones y las actividades relacionadas de transporte / envío;
- Elaborar un plan de prevención y control de vertidos que tenga en cuenta posibles situaciones y la magnitud de los vertidos. El plan contará con los recursos y la capacitación necesarios para su implementación. Los equipos de

⁵ El GNL se evapora rápidamente al exponerse a fuentes de calor ambiente, como por ejemplo el agua, produciendo aproximadamente 600 metros cúbicos de gas natural por cada metro cúbico de líquido.

⁶ Un riesgo potencialmente significativo para el medio ambiente y la seguridad asociado con el transporte de GNL guarda relación con la Transición de fase rápida (RPT) que puede producirse durante el vertido accidental de GNL en el agua a un ritmo muy rápido. La transferencia de calor del agua en el GNL vertido provoca la conversión inmediata del GNL de su fase líquida a su fase gaseosa. La gran cantidad de energía liberada durante una RPT puede provocar una explosión física sin combustión ni reacción química. Los riesgos asociados a las transiciones de fase rápida pueden ser graves, aunque normalmente limitados al área del vertido.

respuesta a vertidos estarán preparados para hacer frente a todo tipo de vertidos, incluidos los de menor magnitud⁷;

- Elaborar planes de respuesta de control de vertidos en coordinación con las autoridades normativas locales pertinentes;
- Equipar las instalaciones con sistemas para la detección temprana de los vertidos de gas, diseñados para identificar la existencia de un vertido de gas y ayudar a localizar su fuente, de modo que los ESD iniciados por el operador puedan activarse rápidamente, minimizando así el inventario de vertidos de gas.
- Disponer de un sistema de Parada y Detección de Emergencia (ESD/D) para iniciar las acciones de parada de transferencia automática en caso de producirse fugas significativas de GNL;
- Para las actividades de carga / descarga que impliquen el uso de buques y terminales marinos, elaborar e implementar procedimientos de prevención de vertidos dirigidos a la carga y descarga de camiones cisterna según la normativa internacional aplicable y las guías específicamente dirigidas a las comunicaciones y la planificación previas con la terminal receptora;
- Garantizar que el diseño de los tanques de almacenamiento de GNL incluya un sistema adecuado de contención secundaria (p. ej. , 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) en caso de producirse un vertido inesperado;
- Las instalaciones deben facilitar la nivelación, drenaje o embalses para las zonas de evaporación, proceso o transferencia capaces de contener la mayor cantidad

posible de GNL y otros líquidos inflamables que pueda descargar una única línea de transferencia en 10 minutos⁸;

- Elegir materiales para conductos y equipos que puedan exponerse a temperaturas criogénicas y cumplan las normas internacionales de diseño;⁹
- En caso de producirse un escape de gas, facilitar la dispersión segura de este gas, 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, p. ej. cubriéndolo con una espuma expansiva; y
- Diseñar un sistema de drenaje en las instalaciones que permita recoger las sustancias peligrosas liberadas durante vertidos accidentales para reducir los riesgos de incendio y explosión y la descarga en el medio ambiente. Se optimizará el diseño del sistema de drenaje de vertidos de GNL (sistema de receptores y colectores) para reducir la tasa de vaporización y limitar la zona de dispersión global del vapor.

Aguas residuales

Las **guías generales sobre MASS** proporcionan información sobre el manejo, la conservación y la reutilización del agua, junto con los programas de seguimiento de calidad de las aguas residuales y el agua. Las recomendaciones que se presentan a continuación están relacionadas con otras corrientes de aguas residuales específicas de las instalaciones de GNL.

⁷ Dado que se evaporan rápidamente, los vertidos menores de GNL o refrigerantes rara vez precisan de equipos de respuesta a vertidos para llevar a cabo una respuesta manual.

⁸ La Norma Europea 1473 sugiere que el sistema de embalse se estudiará en base a una evaluación de riesgos.

⁹ Norma de la NFPA 59A (Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas, 2001).

Corrientes de agua de refrigeración y agua fría

El uso de agua durante el proceso de refrigeración en las instalaciones de licuefacción del GNL y durante la calefacción de revaporización en las terminales receptoras de GNL puede suponer un uso significativo de agua, así como corrientes de descarga. Las recomendaciones para controlar el uso y las corrientes de descarga de agua de refrigeración y agua fría incluyen:

- Estudiar las opciones posibles para la conservación del agua en los sistemas de refrigeración empleados en las instalaciones de GNL (p. ej. recuperadores de calor refrigerados con aire en lugar de agua, y posibilidades de integración de las descargas de agua fría en otras instalaciones industriales o plantas eléctricas cercanas). La selección del sistema de preferencia debería buscar el equilibrio entre sus ventajas ambientales y sus implicaciones para la seguridad¹⁰. Las **guías generales sobre MASS** proporcionan recomendaciones adicionales sobre conservación del agua;
- El agua fría o de refrigeración se descargará en las aguas superficiales en una ubicación que facilite al máximo la mezcla y enfriamiento de la columna de agua térmica para garantizar que la temperatura no supere en 3 grados centígrados la temperatura ambiente en el perímetro de la zona de mezcla, o a 100 metros de distancia del punto de descarga, como ilustra el Cuadro 1 de la Sección 2.1 de la presente guía;
- Cuando sea necesario utilizar biocidas / sustancias químicas, seleccionar cuidadosamente los aditivos químicos en términos de concentración de la dosis, toxicidad, biodegradabilidad, biodisponibilidad y potencial de bioacumulación. Se tendrán en cuenta los efectos

¹⁰ Así, cuando el espacio es limitado (p. ej. en el mar), los riesgos de explosión son clave para adoptar una decisión sobre el sistema a adoptar. Se recomienda buscar el equilibrio mediante un enfoque global de riesgos para la salud, la seguridad y el medioambiente tan bajos como sea razonablemente posible (ALARP).

residuales de la descarga empleando técnicas como las evaluaciones de riesgos.

Otras corrientes de aguas residuales

Otras aguas residuales que suelen generarse en las instalaciones de GNL incluyen el drenaje de aguas residuales de proceso, aguas de alcantarillado, agua del fondo de los tanques (p. ej. el agua procedente de la condensación en los tanques de almacenamiento de GNL), agua empleada para la extinción de incendios, aguas de lavado de equipos y vehículos y aguas oleosas en general. Se estudiarán las siguientes medidas de prevención y tratamiento de la contaminación para estas aguas residuales:

- *Aguas residuales:* 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 de lo posible, se dispondrá de sistemas drenaje separados para las aguas de drenaje de las áreas de proceso que puedan contaminarse con hidrocarburos (drenajes cerrados) y para las aguas de drenaje de las áreas restantes (drenajes abiertos). Se aislarán todas las áreas de proceso para garantizar la circulación del agua de drenaje en el sistema cerrado de drenaje y evitar la escorrentía superficial no controlada. Los tanques de drenaje y sumidero se diseñarán de modo que dispongan de suficiente capacidad para las condiciones operativas previstas y se instalarán sistemas que impidan el rebalse. Se utilizarán cubetas de goteo y otros controles para recoger la escorrentía ocasionada por los equipos que no pueda contenerse en una zona segura y se canalizarán los contenidos hasta el sistema cerrado de drenaje. Los canales de circulación y estanques de recolección de aguas pluviales que formen parte del sistema de drenaje abierto se equiparán con separadores agua / aceite. Los separadores pueden incluir

deflectores o placas de coalescencia y se someterán a un mantenimiento periódico. La esorrentía de aguas pluviales se tratará con un sistema de separación agua / aceite capaz de alcanzar concentraciones de aceite y grasa de 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 sobre el manejo de las aguas pluviales.

- *Agua empleada para la extinción de incendios:* El agua empleada en la extinción de incendios y procedente de los vertidos de prueba debe contenerse y canalizarse hasta el sistema de drenaje de la planta o, si está contaminada con hidrocarburos, hasta un estanque de almacenamiento.
- *Aguas de lavado:* Las aguas de lavado de equipos y vehículos se canalizarán hasta el sistema de drenaje cerrado o hasta el sistema de tratamiento de aguas residuales en la planta.
- *Aguas oleosas en general:* Las aguas oleosas procedentes de las bandejas de goteo y los lodos líquidos de los equipos de proceso y conductos se canalizarán hacia el sistema de tratamiento de aguas residuales.
- *Agua de pruebas hidrostáticas:* Las pruebas hidrostáticas de los equipos de GNL (p. ej. 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 / 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 sustancias químicas, minimizando el tiempo durante el cual el agua de ensayo 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 ensayos

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 de aguas de pruebas hidrostáticas que tenga en cuenta los puntos de descarga, la tasa de descarga, el uso de sustancias químicas y dispersión, el riesgo ambiental y el seguimiento requerido. Se realizará un seguimiento de la calidad del agua empleada en las pruebas hidrostáticas antes de su uso y descarga y se tratará para ajustarse a los límites de descarga enumerados en el Cuadro 1 de la Sección 2.1 de la presente guía¹¹. Para recomendaciones adicionales sobre el manejo de las aguas de pruebas hidrostáticas para tuberías, ver las **guías sobre MASS para el desarrollo de petróleo y gas en tierra y marino**, respectivamente.

Emisiones a la atmósfera

Las emisiones a la atmósfera (continuas o discontinuas) procedentes de las instalaciones de GNL incluyen las fuentes de combustión para la generación de electricidad y calor (p. ej. para las actividades de deshidratación y licuefacción en las terminales de licuefacción de GNL y las actividades de regasificación en las terminales receptoras de GNL), además

¹¹ 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, tasa de descarga, uso y dispersión de sustancias químicas y riesgos ambientales. Las descargas se planificarán lejos de las zonas ambientales más sensibles, prestando especial atención a las capas freáticas superiores, acuíferos vulnerables y humedales, así como a los receptores comunitarios, incluidos pozos de agua, tomas de agua y terrenos agrícolas.

del uso de compresores, bombas y motores alternativos (p. ej. calderas, turbinas y otros motores). Las emisiones procedentes de la combustión y la quema, así como de fuentes fugitivas, pueden generarse durante las actividades llevadas a cabo en las terminales tanto de licuefacción como de regasificación de GNL. Los principales gases procedentes de estas fuentes suelen consistir en óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y, en el caso de los gases agrios, dióxido de azufre (SO₂).

En las plantas de GNL con importantes fuentes de combustión, se valorarán los impactos sobre la calidad del aire mediante el uso de evaluaciones de referencia de la calidad del aire y modelos de dispersión atmosférica para establecer las posibles concentraciones de aire ambiente a nivel del suelo durante el diseño de las instalaciones y la planificación de las operaciones, descritos en las guías generales sobre MASS. Estos estudios deberían garantizar la ausencia de impactos adversos para la salud humana y el medio ambiente.

Se invertirán todos los esfuerzos necesarios para maximizar la eficiencia energética y diseñar instalaciones que minimicen el uso de energía. El objetivo general sería reducir las emisiones a la atmósfera y evaluar las opciones eficaces y técnicamente factibles en términos de costos para reducir las emisiones. Las **guías generales sobre MASS** contienen recomendaciones sobre eficiencia energética.

Se cuantificarán anualmente las emisiones significativas (>100.000 toneladas de CO₂ equivalente al año) de gases de efecto invernadero (GEI) procedentes de todas las instalaciones y actividades auxiliares como emisiones agregadas de acuerdo

con las metodologías reconocidas internacionalmente y procedimientos para la generación de informes¹².

Gases de escape

Las emisiones de gases de escape procedentes de la combustión de gas natural o de hidrocarburos líquidos en turbinas, calderas, compresores, bombas y otros motores empleados para generar electricidad y calor pueden constituir la fuente más significativa de emisiones a la atmósfera en las instalaciones de GNL. Se tendrán en cuenta las especificaciones de las emisiones a la atmósfera durante la selección y adquisición de todos los equipos.

En las **guías generales sobre MASS** se ofrecen recomendaciones sobre la gestión de pequeñas emisiones de fuentes de combustión con una capacidad de hasta 50 megavatios térmicos (MWth), incluidas normas de emisión a la atmósfera de emisiones de escape. Para las emisiones de fuentes de combustión con una capacidad superior a los 50 MWth, ver las **guías sobre MASS para la energía térmica**.

En las terminales de regasificación, se estudiará la posibilidad de elegir vaporizadores de combustión sumergida (SCV), vaporizadores de rejilla abierta (ORV)¹³, vaporizadores de carcasa y tubo, vaporizadores de aire teniendo en cuenta las condiciones ambientales de partida y las sensibilidades ambientales existentes. Cuando exista otra fuente de energía térmica en las proximidades (p. ej. una refinería cercana), se estudiará la posibilidad de instalar sistemas de recuperación del calor residual (WHR) / vaporizadores de carcasa y tubo.

¹² Para recomendaciones adicionales sobre las metodologías de cuantificación, ver la Guidance Note 3, Anexo A, de la CFI, disponible en www.ifc.org/envsocstandards.

¹³ 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.

Quema y combustión

La quema o combustión es una medida operativa y de seguridad importante en las instalaciones de procesamiento del carbón destinada a garantizar la segura eliminación del gas en caso de emergencia, un fallo eléctrico o del sistema y cualquier condición anómala en la planta. La quema o combustión se utilizará sólo en caso de emergencia o en condiciones alteradas en la planta. La quema o combustión continua del gas 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 la combustión se describen en las **guías sobre MASS para el desarrollo de petróleo y gas en tierra**.

Gas de evaporación (BOG)

Después de la licuefacción del GNL, el GNL almacenado emite vapor de gas de metano, denominado 'gas de evaporación' (BOG, por sus siglas en inglés), a causa del calor procedente de las condiciones ambiente y bombas de tanques, además de los cambios de presión barométrica. El BOG se recogerá empleando un sistema adecuado de recuperación de vapor (p. ej. sistemas de compresores). En las plantas de GNL (salvo en las operaciones de carga de los transportadores de GNL), el vapor regresará al proceso para su licuefacción o se usará como combustible en el emplazamiento; a bordo de los transportadores de GNL, el BOG licúa de nuevo y regresa a los tanques de almacenamiento o se emplea como combustible; en las instalaciones de regasificación (terminales receptoras), los vapores recogidos deben devolverse al sistema de proceso para ser utilizados como combustible en el emplazamiento, comprimidos y canalizados en flujos /gasoductos de venta, o se quemarán.

Emisiones fugitivas

Las emisiones fugitivas en las instalaciones de GNL pueden estar asociadas con vientos fríos, fugas en conductos y tuberías, válvulas, conexiones, bridas, revestimientos, conducciones abiertas, juntas de bombas, juntas de compresores, válvulas de descompresión, y a las operaciones de carga y descarga en general. Se estudiarán e implementarán métodos para controlar y reducir las emisiones fugitivas en el diseño, la operación y el mantenimiento de las instalaciones. La selección de las válvulas, bridas, accesorios, juntas y revestimientos se basará en su capacidad para reducir las fugas de gas y emisiones fugitivas¹⁴. Además, se implementarán programas de detección y reparación de fugas.

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.

Manejo de residuos

Los residuos peligrosos y no peligrosos generados de forma rutinaria en las instalaciones de GNL incluyen 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 usados de sustancias químicas, filtros usados, medios empleados para el desazufrado y la deshidratación (p. ej. tamices moleculares) y lodos oleosos procedentes de los separadores de agua / aceite, aminas usadas procedentes de las unidades de eliminación de gas ácido, fragmentos de metal y residuos médicos entre otros.

¹⁴ Ver el Código Federal de Regulaciones (CFR) de Estados Unidos, CFR 4049 Parte 193: Liquefied Natural Gas Facilities: Federal Safety Standards (2006), la Norma Europea (NE) 1473: Instalación y equipos para gas natural licuado – Diseño para las instalaciones terrestres (1997) y la Norma 59A de la NFPA (Asociación Nacional contra el Fuego de Estados Unidos), Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas (2006).

Los materiales de desecho se dividirán en residuos peligrosos y no peligrosos, estudiándose su reutilización / reciclado antes de su eliminación. Se elaborará un plan de manejo de residuos que contenga un dispositivo de detección de residuos desde la ubicación original hasta el lugar de recepción final de los residuos. 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**.

Ruido

Las principales fuentes de emisiones de ruido en las instalaciones de GNL incluyen bombas, compresores, generadores y motores, la succión / descarga de compresores, conductos de reciclado, secadores de aire, calefactores, refrigeradores de aire en las instalaciones de licuefacción, vaporizadores usados durante la regasificación y operaciones generales de carga / descarga de transportadores / buques de GNL.

Las condiciones atmosféricas que pueden afectar a los niveles de ruido son la humedad, la dirección del viento y la velocidad del mismo. La vegetación (por ejemplo, árboles) y los muros pueden reducir los niveles de ruido. Cuando sea necesario, se instalarán barreras aislantes de sonido. Las **guías generales sobre MASS** establecen los niveles máximos permitidos de ruido ambiente en valor logarítmico que no deberán sobrepasarse y contienen recomendaciones generales para prevenir y controlar el ruido.

Transporte de GNL

Las **guías sobre MASS para el transporte** describen las cuestiones ambientales más comunes para los buques y el transporte (p. ej. el manejo de materiales peligrosos, aguas residuales y otros efluentes, emisiones a la atmósfera y generación y manejo de residuos sólidos relacionados con

camiones cisterna / transportadores de GNL). 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.

El diseño, construcción y operación de los buques de GNL deben respetar las normas y códigos internacionales¹⁵ relativos a los requisitos de casco (p. ej. doble casco con distancias de separación entre las distintas capas), la contención de las mercancías, los controles de presión / temperatura, los tanques de lastre, los sistemas de seguridad, la protección contra incendios y la capacitación de las tripulaciones, entre otras cuestiones¹⁶. Las recomendaciones específicas para mitigar la Transición de fase rápida (RPT) incluyen:

- Maximizar el nivel de presión de los tanques de carga de GNL;
- Activar el sistema de descompresión de los tanques de carga de GNL tan rápidamente como sea posible para desalojar los grandes volúmenes de vapor que pueden generarse durante un evento de RPT.

1.2 Higiene y seguridad en el trabajo

Se estudiarán las cuestiones de higiene y seguridad en el trabajo como parte de una evaluación exhaustiva de los riesgos, incluyendo 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

¹⁵ 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 el Código Internacional de Gaseros (Código CIG), de la Organización Marítima Internacional (OMI). Para recomendaciones adicionales, ver las normas, códigos de prácticas, principios y guías publicados por la Sociedad Internacional de Armadores de Buques Gaseros y Operadores de Terminales (SIGTTO), disponible en www.sigtto.org.

¹⁶ 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 deberían abarcar las operaciones de carga / descarga y, tal y como recomienda la OMI, incluirán las comunicaciones y la coordinación entre el "buque y la costa".

resultados se incorporarán a la planificación de la gestión de higiene y seguridad, al diseño de las instalaciones y de los sistemas seguros de trabajo, así como en la elaboración y comunicación de procedimientos de seguridad en el trabajo.

El diseño de las instalaciones buscará eliminar o reducir la posibilidad de lesión o riesgo de accidentes y tendrá en cuenta las condiciones ambientales predominantes en el emplazamiento, incluidas las probabilidades de que se produzcan riesgos naturales extremos como terremotos o huracanes.

La planificación de la gestión de la higiene y la seguridad debería demostrar: que se adoptará un enfoque sistemático y estructurado para gestionar la higiene 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 higiene y seguridad en las instalaciones.

Se desarrollará un sistema formal de Permisos de Trabajo (PTW, por sus siglas en inglés) en las instalaciones. El PTW garantizará que todo trabajo que pueda entrañar algún peligro se realice de forma segura, así como la efectiva autorización del trabajo designado, la efectiva comunicación del mismo (incluidos los riesgos asociados) y los procedimientos de aislamiento seguro aplicados antes de comenzar el trabajo. Se implementará un procedimiento de bloqueo/ etiquetado para los equipos y garantizar así que éstos están aislados frente a las fuentes de energía antes de su puesta a punto o retirada.

Las instalaciones deben contar al menos con proveedores especializados en primeros auxilios (personal de atención sanitaria industrial) y con los medios para proporcionar a corto plazo asistencia remota al paciente. Dependiendo del número de trabajadores y de la complejidad de las instalaciones, se

estudiará la posibilidad de establecer una unidad médica en el emplazamiento y de contar con un médico. En ciertos casos, una opción puede consistir en la prestación de servicios sanitarios a distancia.

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

Los problemas asociados con la higiene y la seguridad en el trabajo en las operaciones de las plantas de GNL incluyen entre otros:

- Incendios y explosiones
- Vuelco
- Contacto con superficies frías
- Riesgos de origen químico
- Espacios reducidos

Los impactos para la higiene y la seguridad en el trabajo y las recomendaciones aplicables al transporte de GNL por medio de buques se describen en las **guías sobre MASS para el transporte**¹⁷.

¹⁷ La construcción y equipo de los buques que transportan gases licuados a granel y los transportadores de gas deben cumplir los requisitos del Código Internacional de Gaseiros (Código CIG), publicados por la Organización Marítima Internacional (OMI). Para recomendaciones adicionales, ver las normas, códigos de prácticas, principios y guías publicados por la Sociedad Internacional de Armadores de Buques Gaseiros y Operadores de Terminales (SIGTTO).

Incendios y explosiones

Los riesgos de incendios y explosiones 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 causa de las fugas y/o vertidos de productos inflamables. Las fuentes posibles de ignición incluyen las chispas asociadas con la acumulación de electricidad estática¹⁸, relámpagos y llamas expuestas. El vertido accidental de GNL puede generar la formación de un charco líquido que se evapora, lo que podría resultar en incendios de charco y / o la dispersión de una nube de gas natural procedente de la evaporación del charco.

Además de las recomendaciones para el manejo de materiales peligrosos y aceite 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:

- Las instalaciones de GNL se diseñarán, construirán y operarán de acuerdo con las normas internacionales¹⁹ para la prevención y el control de los riesgos de incendio y explosiones, incluidas las disposiciones sobre distancias de seguridad entre los tanques situados en las instalaciones y entre las propias instalaciones y los edificios adyacentes;²⁰

¹⁸ La electricidad estática es el resultado del movimiento de líquidos en contacto con otros materiales, incluidos conductos y tanques de combustible durante la carga y descarga de producto. Además, la niebla 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.

¹⁹ Un ejemplo de buenas prácticas es la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA) de Estados Unidos, Código 59A: Standard for the Production, Storage, and handling of Liquefied Natural Gas (LNG) (2006) y la NE 1473. Para guías adicionales dirigidas a minimizar la exposición a la electricidad estática y los relámpagos, ver la Práctica Recomendada del API: Protection Against Ignitions Arising out of Static, Lightning, and Stray Currents (2003).

²⁰ En caso de no poder garantizarse un espaciamiento adecuado entre las distintas zonas, se estudiará la posibilidad de instalar muros contra explosiones para separar las zonas de proceso de otras áreas dentro de las instalaciones y/o reforzar los edificios.

- Implementar procedimientos de seguridad para la carga y descarga de producto mediante sistemas de transporte (p. ej. automotores y camiones cisternas, buques²¹), incluido el uso de válvulas de control a prueba de fallos y equipos de parada de emergencia;
- Elaborar un plan formal de extinción de incendios que cuente con los recursos y la capacitación necesarios, incluida la capacitación en el uso de equipos de extinción de incendios y evacuación. 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;
- Prevenir las posibles fuentes de ignición mediante, por ejemplo:
 - Una adecuada puesta a tierra para evitar la acumulación de electricidad estática y los riesgos asociados con los relámpagos (incluyendo procedimientos formales para el uso y mantenimiento de conexiones puestas a tierra)²²
 - El uso de instalaciones eléctricas intrínsecamente seguras y de dispositivos antichispas²³
 - La implementación de sistemas de autorización y procedimientos para realizar trabajos de riesgo durante las actividades de mantenimiento²⁴, incluyendo el venteo y la limpieza adecuados de los tanques,

²¹ Ver Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals - 3ª edición (2000), de la Society of International Gas Tanker and Terminal Operators Ltd (SIGGTO), y el Código Federal de Regulaciones (CFR) de la EPA, CFR 33 Parte 127: Waterfront facilities handling liquefied natural gas and liquefied hazardous gas, y la Norma 59A de la NFPA (Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas, 2006).

²² Por ejemplo, ver el Capítulo 20, ISGOTT (1995).

²³ Por ejemplo, ver el Capítulo 19, ISGOTT (1995).

²⁴ El control de las fuentes de ignición es especialmente relevante en las zonas donde se den mezclas potencialmente inflamables de vapor-aire, como por ejemplo dentro del espacio de vapor de los tanques, dentro del espacio de vapor vagones / camiones cisterna durante la carga / descarga, sistemas próximos de eliminación / recuperación de vapor, cerca de las válvulas de descarga en los tanques atmosféricos, en las proximidades de fugas o vertidos.

- El establecimiento de zonas peligrosas en el diseño para los equipos eléctricos;
- Equipar adecuadamente 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 almacenados en las instalaciones. Entre los equipos de extinción de incendios puede haber equipos móviles / portátiles, como extintores de incendios y vehículos especializados. Los sistemas fijos de extinción de incendios pueden consistir en el uso de torres para espuma y grandes bombas de corriente. La instalación de sistemas de extinción de incendios de halón no se considera una buena práctica de la industria y debe evitarse. Los sistemas fijos también pueden consistir en extintores de espuma unidos a los tanques y en sistemas de protección contra incendios automáticos o manuales en las zonas de carga / descarga. El agua no debe emplearse para extinguir incendios de GNL, ya que aumenta el índice de vaporización del mismo.²⁵
- Ubicar todos los sistemas contra incendios en una zona segura dentro las instalaciones, protegida del fuego por la distancia o por muros contra incendios.
- Evitar la presencia de atmósferas explosivas en los espacios cerrados, inertizando éstos;
- Proteger las zonas de alojamiento mediante distancias de seguridad o muros contra incendios. Las tomas de aire de ventilación deben impedir la entrada de humo en las zonas de alojamiento;
- Implementar procedimientos de seguridad para la carga y descarga de productos mediante sistemas de transporte (p. ej. automotores y camiones cisternas, buques²⁶),

incluido el uso de válvulas de control a prueba de fallos y equipos de parada de emergencia;

- Elaborar un plan de respuesta contra incendios que disponga de los recursos necesarios para su implementación;
- Capacitar a los trabajadores en materia de seguridad y respuesta ante incendios como parte de los cursos iniciales/ la capacitación sobre higiene y seguridad, incluyendo capacitación en el uso de equipos de extinción de incendios y evacuación, y formación avanzada sobre seguridad contra incendios para un equipo designado para llevar a cabo las labores de extinción de incendios.

Vuelco

El almacenamiento de grandes cantidades de GNL en los tanques puede resultar en un fenómeno conocido como "vuelco". Los vuelcos pueden producirse cuando el GNL se estratifica en capas de distinta densidad dentro del tanque de almacenamiento, lo que genera presiones que, en ausencia de válvulas de seguridad que funcionen correctamente, podría provocar daños estructurales.

Las medidas recomendadas para prevenir los vuelcos incluyen:

- Supervisar la presión, la densidad y la temperatura de los tanques de almacenamiento de GNL en toda la columna de líquido;
- Estudiar la posibilidad de instalar un sistema para recircular el GNL dentro del tanque;
- Instalar válvulas de seguridad de presión para los tanques diseñadas para hacer frente a los vuelcos;
- Instalar múltiples puntos de carga a distintos niveles del tanque para facilitar la distribución de GNL de distinta densidad dentro del tanque e impedir la estratificación.

²⁵ Entre las buenas prácticas destacan la norma 59A de la US National Fire Protection Association (NFPA) o equivalente.

²⁶ Para un ejemplo de buenas prácticas industriales para la carga y descarga de los camiones cisterna, ver ISGOTT.

Contacto con superficies frías

El almacenamiento y manejo del GNL puede exponer al personal al contacto con productos a temperaturas muy reducidas. Los equipos de la planta que puedan plantear riesgos ocupacionales a causa de las bajas temperaturas se identificarán y protegerán adecuadamente para reducir los contactos accidentales con el personal. Se capacitará a los trabajadores sobre los riesgos asociados con el contacto con superficies frías (p. ej. quemaduras en frío), proporcionándoles equipos de protección personal (EPP) (p. ej. guantes, indumentaria aislante) cuando sea necesario.

Riesgos de origen químico

El diseño de las instalaciones terrestres debe reducir la exposición del personal a las sustancias químicas, combustibles y productos que contengan sustancias peligrosas. Las sustancias y productos clasificados como muy tóxicos, carcinógenos, alergénicos, mutágenos, teratogénicos o muy corrosivos deben identificarse y ser sustituidos, siempre que sea posible, por alternativas menos peligrosas. Se dispondrá para cada sustancia química empleada de una Ficha de Datos de Seguridad (MSDS, por sus siglas en inglés), accesible en todo momento en las instalaciones. Las **guías generales sobre MASS** contienen una aproximación general jerárquica relacionada con la prevención de impactos provocados por riesgos de origen químico.

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 gases que puede liberarse a la atmósfera. Se iniciará la purga de los equipos de presión para reducir la presión del sistema y por ende el índice de flujo del vertido. Los dispositivos de detección de gas se utilizarán también para autorizar la entrada y las operaciones en espacios cerrados. Las instalaciones de licuefacción que lleven a cabo operaciones de tratamiento de gas pueden plantear un riesgo

de vertidos de sulfuro de hidrógeno (H_2S). Cuando exista la posibilidad de acumulaciones de gas H_2S , se estudiarán las siguientes medidas:

- Elaborar un plan de emergencia para los vertidos de H_2S , incluyendo todos los aspectos relativos a la evacuación y la vuelta a las operaciones normales;
- Instalar monitores preparados para activar señales de alerta cuando se detecten concentraciones de H_2S que excedan los 7 miligramos por metro cúbico (mg/m^3). El número y emplazamiento de los monitores se determinará sobre la base de una evaluación de las ubicaciones de las plantas más propicias para la emisión de H_2S y para la exposición ocupacional;
- Dotar a los trabajadores de detectores personales de H_2S en lugares de alto riesgo de exposición, junto con aparatos respiratorios autónomos y suministros de oxígeno de emergencia ubicados de modo que el personal pueda interrumpir de forma segura sus tareas y alcanzar un refugio temporal;
- Proporcionar sistemas adecuados de ventilación en los edificios ocupados y sistemas de seguridad apropiados (p. ej. esclusas, parada de la ventilación por detección de gas) para evitar la acumulación de gas de sulfuro de hidrógeno;
- Capacitar al personal sobre el uso de los equipos de seguridad y la respuesta en caso de fugas.

Espacios cerrados

Los riesgos asociados con los espacios cerrados en éste y en otros sectores industriales son potencialmente letales. La entrada en espacios cerrados por parte de los trabajadores de las terminales de GNL y las probabilidades de que se produzcan accidentes pueden variar de unas terminales a otras en función del diseño, equipos en el emplazamiento e infraestructura. Los espacios cerrados pueden consistir en tanques de almacenamiento, zonas de contención secundaria e

infraestructura de manejo de aguas pluviales/ aguas residuales. En estas instalaciones se deben formular y aplicar procedimientos para el ingreso a espacios reducidos como se describe en las **guías generales sobre MASS**.

1.3 Higiene y seguridad en la comunidad

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

Los impactos en la higiene y la seguridad de la comunidad durante las operaciones de una planta de GNL están relacionados con las 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 las zonas comunitarias 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 poco significativa²⁷. La distribución de una planta de GNL y la distancia de separación entre las instalaciones y el público en general y/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 (protección térmica frente a la radiación), nubes de vapor (protección frente a la dispersión de vapor inflamable) y otros riesgos significativos.

Las instalaciones de GNL elaborarán 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, incluido el desarrollado en los muelles de carga y descarga, asociado con las instalaciones de GNL con respecto a las pautas y actividades de tráfico local marino. La ubicación de las instalaciones de carga y descarga de embarcaciones también tendrá en cuenta la presencia de otros corredores de transporte y actividades marinas en la zona (p. ej. pesca, actividades recreativas). Las **guías generales sobre MASS** contienen información adicional sobre los elementos necesarios en los planes de emergencia. Las estrategias generales de manejo de la seguridad en el transporte descritas en las **guías sobre MASS para transporte** son también aplicables al transporte de GNL por mar.

Seguridad

Se impedirá 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 del público en general. Se establecerán las zonas donde comiencen los controles de seguridad en los límites de la propiedad mediante una señalización y el cerramiento adecuado de zonas. Las señales dirigidas al tráfico de vehículos designarán claramente las entradas exclusivas para vehículos / entregas y otras para los vehículos de visitantes / empleados. Se estudiará la posibilidad de instalar medios para la detección de intrusos (por ejemplo, televisiones de circuito cerrado). Para maximizar las oportunidades de vigilancia y minimizar las posibilidades de entrada de intrusos, la planta dispondrá de un adecuado sistema de alumbrado.

²⁷ La evaluación y el control de riesgos para la comunidad deben cumplir las normas reconocidas internacionalmente, como por ejemplo el EN 1473. Se estudiará la posibilidad de adoptar la definición de distancias de protección para el almacenamiento de GNL y otras instalaciones —por ejemplo, el Código Federal de Regulaciones (CFR) de Estados Unidos 49, Parte 193.16—para proteger las zonas circundantes.

2.0 Indicadores de desempeño y valores de referencia de la industria

2.1 Desempeño ambiental

Guías sobre emisiones y efluentes

El Cuadro 1 contiene las guías sobre efluentes. Las emisiones a la atmósfera procedentes de las instalaciones de GNL se controlarán mediante la aplicación de las técnicas descritas en la Sección 1.1 de las presentes guías. Las cantidades correspondientes a los efluentes de los procesos industriales en este sector son indicativas de las prácticas internacionales recomendadas para la industria, reflejadas en las normas correspondientes de los países que cuentan con marcos normativos reconocidos. Las **guías generales sobre MASS** contienen orientaciones sobre las emisiones asociadas con actividades de producción de energía eléctrica y vapor generadas por una fuente de combustión con capacidad igual o inferior a 50 megavatios térmicos, mientras que las **guías sobre MASS para energía térmica** contienen disposiciones sobre las emisiones generadas por una fuente de energía más grande.

Cuadro 1. Niveles de efluentes para las plantas de GNL	
Parámetro	Valor
Agua de pruebas hidrostáticas	<p>Tratamiento y eliminación según las recomendaciones de la sección 1.1 de este documento. Para su descarga en aguas superficiales o en tierra:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Contenido total de hidrocarburos: 10 mg/L ○ pH: 6 - 9 ○ DBO: 25 mg/L ○ DQO: 125 mg/L ○ TSS: 35 mg/L ○ Fenoles: 0.5 mg/L ○ Sulfuros: 1 mg/L ○ Metales pesados (total): 5 mg/L ○ Cloruros: 600 mg/L (promedio), 1200 mg/L (máximo)
Drenaje de aguas pluviales peligrosas	<p>La escorrentía de aguas pluviales debe tratarse mediante un sistema de separación agua/aceite capaz de alcanzar concentraciones de aceite y grasa de 10 mg/L.</p>

Cuadro 1. Niveles de efluentes para las plantas de GNL	
Parámetro	Valor
Agua de refrigeración	<p>El efluente debería suponer un incremento por debajo de los 3° C en el límite de la zona donde se lleve a cabo la mezcla y dilución inicial. Cuando esta zona no haya sido definida, se realizará a 100 m del punto de descarga. La concentración sin cloro (oxidantes residuales totales en las aguas de estuario / marinas) en las descargas de agua de refrigeración / fría (se tomarán muestras de la misma en el punto de descarga) se mantendrá en 0,2 partes por millón (ppm).</p>
Aguas residuales	<p>Tratamiento según las recomendaciones de las guías generales sobre MASS, incluidos los requisitos de descarga. Puede exigirse la provisión de instalaciones diseñadas para recibir los efluentes de los tanques de GNL (ver guías sobre MASS para puertos y zonas portuarias).</p>

Uso de recursos y energía

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 gestores de las instalaciones determinar la eficiencia relativa del proyecto y para que puedan servir también a la hora de evaluar los cambios del desempeño en el tiempo.

Seguimiento ambiental

Se llevarán a cabo programas de seguimiento ambiental para este sector en todas aquellas actividades identificadas por su potencial impacto significativo en el medio ambiente, durante las operaciones normales y en condiciones alteradas. Las actividades de seguimiento ambiental se basarán en indicadores directos e indirectos de emisiones, efluentes y uso de recursos aplicables al proyecto concreto.

La frecuencia del seguimiento debería permitir obtener datos representativos sobre los parámetros objeto del seguimiento. El seguimiento deberá recaer en individuos capacitados, quienes

deberán aplicar los procedimientos de seguimiento y registro y utilizar un equipo adecuadamente calibrado y mantenido. Los datos de seguimiento se analizarán y revisarán con regularidad, y se compararán con las normas vigentes para así adoptar las medidas correctivas necesarias. Las **guías generales sobre MASS** contienen orientaciones adicionales sobre los métodos de muestreo y análisis de emisiones y efluentes.

Cuadro 2. Consumo de recursos y energía

Parámetro	Unidad	Valor de referencia de la industria
Consumo de energía durante el transporte de GNL ¹	MJ/GJ gas por 100 km	19–20 ¹
Consumo de energía – plantas de regasificación	Mwe	20–30 ²
Consumo de agua – sistemas ORV ³	m ³ /hr	30.000
Notas: ¹ IEA, 1999 ² GBS marino o unidad flotante de regasificación de 8 GSm ³ /año ³ Delta térmico de 5°C para una planta de regasificación de 8 GSm ³ /año		

2.2 Higiene y seguridad en el trabajo

Guía sobre higiene y seguridad en el trabajo

Para evaluar el desempeño en materia de higiene y seguridad en el trabajo deben utilizarse las guías sobre exposición que se publican en el ámbito internacional, entre ellas: guías sobre la concentración máxima admisible de exposición profesional (TLV®) y los índices biológicos de exposición (BEIs®) publicados por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)²⁸, la Guía de bolsillo sobre riesgos químicos publicada por el Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo de los Estados Unidos (NIOSH)²⁹, los

límites permisibles de exposición publicados por la Administración de Seguridad e Higiene en el Trabajo de los Estados Unidos (OSHA)³⁰, los valores límite indicativos de exposición profesional publicados por los Estados miembros de la Unión Europea³¹ u otras fuentes similares.

Tasas de accidentes y letalidad

Deben adoptarse medidas para reducir a cero el número de accidentes entre los trabajadores del proyecto (ya sean empleados directos o personal subcontratado), especialmente los accidentes que pueden causar la pérdida de horas de trabajo, diversos niveles de discapacidad e incluso la muerte. Como punto de referencia para evaluar las tasas del proyecto puede utilizarse el desempeño de instalaciones en 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)³².

Seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo

Es preciso realizar un seguimiento de los riesgos que pueden correr los trabajadores en el entorno laboral del proyecto concreto. Las actividades de seguimiento deben ser diseñadas y realizadas por profesionales acreditados³³ como parte de un programa de seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo. En las instalaciones, además, debe llevarse un registro de los accidentes y enfermedades laborales, así como de los sucesos y accidentes peligrosos. Las **guías generales sobre**

²⁸ Disponibles en: <http://www.acgih.org/TLV/> y <http://www.acgih.org/store/>

²⁹ Disponible en: <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>

³⁰ Disponibles en: http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992

³¹ Disponibles en: http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/

³² Disponibles en: <http://www.bls.gov/iif/> y <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>.

³³ Los profesionales acreditados pueden incluir a higienistas industriales certificados, higienistas ocupacionales diplomados o profesionales de la seguridad certificados o su equivalente.

MASS contienen orientaciones adicionales sobre los programas de seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo.

3.0 Referencias y fuentes adicionales

ABS Consulting. 2004. Consequence Assessment Methods for Incidents Involving Releases from Liquefied Natural Gas Carriers. Informe para FERC. Houston, TX: ABS Consulting.

Agencia Internacional de la Energía (IEA). 1999. Automotive Fuels Information Service. Automotive Fuels for the Future: The Search for Alternatives. París: IEA. Disponible en <http://www.iea.org/dbtw-wpd/textbase/nppdf/free/1990/autofuel99.pdf>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). Código Federal de Regulaciones, CFR 49, Parte 193. Instalaciones de gas natural licuado: Normas federales de seguridad. Última edición. Washington, DC: US EPA. Disponible en http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/textidx?c=ecfr&tpl=/ecfrbrowse/Title49/49cfr193_main_02.tpl

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). Código de Regulaciones Federales, CFR 33, Parte 127: Waterfront facilities handling liquefied natural gas and liquefied hazardous gas. Última edición. Washington, DC: US EPA

Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA). 2006. NFPA 59A. Norma para la producción, almacenamiento y manipulación del gas natural licuado (GNL). Quincy, MA: NFPA.

Aspen Environmental Group. 2005. International and National Efforts to Address the Safety and Security Risks of Importing Liquefied Natural Gas: A Compendium. Elaborado por la Comisión de Energía de California. Sacramento, CA: Aspen Environmental Group.

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

CEE. 2003b. LNG Safety and Security. Sugar Land, Texas: CEE. Disponible en <http://www.beg.utexas.edu/energyecon/>

Comisión de Energía de California. 2003. Liquefied Natural Gas in California: History, Risks, and Siting. Staff White Paper. No. 700-03-005. Sacramento, CA: Comisión de Energía de California. Disponible en <http://www.energy.ca.gov/naturalgas/index.html>

Departamento de Energía de Nova Scotia. 2005. Code of Practice. Liquefied Natural Gas Facilities. Halifax, Nova Scotia: Department of Energy. Disponible en <http://www.gov.ns.ca/energy>

Guía de Seguridad Internacional para Petroleros y Terminales (ISGOTT). 1995. 4ª ed. ICS & OCIMF. Londres: Witherbys Publishing.

Instituto Americano del Petróleo (API). 2003. Práctica Recomendada. Protección contra incendios que surjan de electricidad estática, rayos y corrientes desviadas. API RP 2003. Washington, DC: API.

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

Organización Marítima Internacional (OMI). 1983. Código Internacional sobre el Transporte de Gases Licuados a Granel (Código IGC). IMO 782E. Última edición. Londres: IMO.

Organización Marítima Internacional (OMI). 1978. MARPOL 73/78. Convenio Internacional para prevenir la Contaminación por los Buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978 relativo al mismo. Londres: OMI.

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, Nuevo México y Livermore, California: Sandia National Laboratories.

Sociedad Internacional de Armadores de Buques Gaseros y Operadores de Terminales (SIGTTO). 1997 Site Selection and Design of LNG Ports and Jetties. Londres: SIGTTO. Disponible en <http://www.sigtto.org>

SIGTTO. 2000. Safety in Liquefied Gas Marine Transportation and Terminal Operations. Londres: SIGTTO. Disponible en <http://www.sigtto.org>

Unión Europea. Norma Europea (EN) Norma EN 1473. Instalaciones y equipos para gas natural licuado. Diseño de las instalaciones terrestres. Última edición. Bruselas: UE.

Anexo A: Descripción general de las actividades de la industria

Gracias a la licuefacción del gas natural se obtiene una significativa reducción de volumen que permite almacenar y transportar grandes cantidades de gas natural licuado (GNL) por barco. La cadena del GNL incluye las siguientes fases de actividad:

- Fase 1: Producción de gas natural (actividades e instalaciones de exploración y producción o 'upstream');
- Fase 2: Transporte del gas natural hasta las plantas de procesamiento / licuefacción;
- Fase 3: Tratamiento del gas natural (deshidratación, eliminación del sulfuro de hidrógeno (H₂S), etc.);
- Fase 4: Licuefacción del gas natural;
- Fase 5: Carga del GNL en los barcos transportadores de GNL y transporte hasta las terminales receptoras;
- Fase 6: Descarga y almacenamiento del GNL en las terminales receptoras;
- Fase 7: Regasificación del GNL por medio del intercambio de calor; y
- Fase 8: Distribución del gas natural a la red mediante tuberías de transmisión de gas.

El gas natural sin tratar se "acondiciona" antes de usar para eliminar de él 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 (GLP), y de líquidos de gas natural (LGN), 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 cuadrado (kg/m³).

Licuefacción del gas natural

El Gráfico A1 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 de producto. Por lo general, el gas de suministro se somete a altas presiones (de hasta 90 bares) desde los campos de gas aguas arriba por medio de tuberías, estabilizándose y eliminándose los condensados asociados. El gas se mide, controlando la presión para ajustarla a la presión operativa del diseño de la planta.

El gas se trata previamente para eliminar cualquier impureza que pueda interferir con el procesamiento o que no deba estar presente en los productos finales. Estos tratamientos incluyen la desulfuración y la deshidratación, que permiten eliminar los gases ácidos y los compuestos de azufre—por ejemplo, dióxido de carbono (CO₂), sulfuro de hidrógeno (H₂S) y mercaptanos, el mercurio y otros restos contaminantes, cuando sea necesario, y la eliminación de agua.

El gas dulce seco se enfría mediante corrientes refrigerantes para separar los hidrocarburos más pesados. El gas tratado se somete a múltiples fases de refrigeración por medio de la recuperación indirecta de calor con uno o más refrigerantes, proceso durante el cual el 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. Los vapores de expansión instantánea y los gases de evaporación (BOG) se reciclan en el proceso. El GNL

resultante se almacena en tanques atmosféricos listos para exportar por barco.

Los hidrocarburos más pesados que puedan separarse durante la refrigeración se fraccionan y recuperan. El etano se reinyecta normalmente en la corriente de gas para licuarse. El propano y el butano pueden reinyectarse o exportarse como productos de GLP, mientras que el pentano (o compuestos más pesados) puede exportarse como producto de gasolina.

Los procesos de licuefacción usan principalmente la refrigeración mecánica, durante la cual el calor se transfiere del gas natural, mediante superficies de intercambio, hasta un fluido refrigerante de circuito cerrado. El circuito de refrigerante aprovecha el efecto frío de la expansión del fluido, lo que exige la utilización de un compresor. Se han desarrollado distintos procesos para el GNL, contándose entre los más habituales:

- La cascada, donde se emplea cierto número de circuitos refrigerantes separados con distintos fluidos de componente único, como por ejemplo el propano, el etileno y el metano; y
- Refrigerante mezclado, que utiliza una mezcla de nitrógeno e hidrocarburos ligeros.

Los recursos clave necesarios para las unidades de procesamiento incluyen:

- Gas de combustión (derivado de las corrientes de proceso) para generar electricidad;
- Elementos de refrigeración (agua o aire); y
- Elementos de calefacción (vapor o sistema de aceite caliente).

Transporte de GNL

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 m³ y los 260.000 m³. Los tanques a bordo funcionan como grandes contenedores de tipo termo (pseudo-dewar), que permiten mantener el GNL en estado líquido durante su transporte. Una cantidad muy reducida de gas se produce en los tanques y se recoge para impedir la acumulación gradual de presión, pudiendo emplearse como combustible para el transportador. Se utilizan cinco sistemas de contención en los nuevos transportadores de GNL, constantemente supervisados para detectar la presencia de gas y los cambios de temperatura³⁴:

- 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 la mercancía.

Terminal de regasificación de GNL en tierra

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

- Un sistema de descarga de GNL, incluidos muelles y atracadero;
- Tanque/s de almacenamiento de GNL;
- Bombas de GNL dentro y fuera del tanques;
- Sistema de manejo de vapor;
- Vaporizadores de GNL

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 en el tanque de almacenamiento por desplazamiento se devuelve a

³⁴ Las características relevantes y detalladas de los tanques figuran en los documentos orientativos y especificaciones de diseño elaboradas por SIGTTO

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 instalarán uno o más tanques de gran capacidad para recibir y almacenar el GNL.

Durante las operaciones normales, se produce BOG en los tanques y líneas llenas de líquido a causa de la transferencia de calor en los alrededores. El BOG se recoge normalmente para recondensarlo en la corriente de GNL. Durante la descarga de los buques, la cantidad de vapor generado es más elevada. Desde el tambor de succión del compresor, el vapor se canaliza hasta las líneas de retorno de vapor al buque o a los compresores de BOG. El vapor que no se devuelve al buque se comprime y canaliza hacia el recondensador.

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

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

- Vaporizadores de rejilla abierta (ORV, por sus siglas en inglés), que utilizan agua marina para calentar y vaporizar el GNL;
- Los vaporizadores de combustión sumergida (SCV), que utilizan quemadores alimentados con gas de envío para generar calor para la vaporización; y
- Los vaporizadores de carcasa y tubo (o fluido intermedio), cuando existe una fuente externa de calor a disposición.

Sistemas de quema y combustión

En caso de darse condiciones de reducción extrema del caudal o emergencia, podría generarse BOG en cantidades que excedan la capacidad del recondensador. En tales casos, el BOG se libera a la atmósfera mediante su quema o combustión. Al implementar el venteo de emergencia, se tendrá en cuenta el de metano frío caído después de la descarga para evitar que el metano frío supere el límite inferior de inflamabilidad (LII).

Terminal receptora marítima de GNL

A continuación se presentan los distintos diseños para las instalaciones marinas de GNL:

- Estructuras basadas en la gravedad (EBG),
- Unidades flotantes de regasificación y almacenamiento (FSRU, por sus siglas en inglés),
- Unidades flotantes de regasificación (FRU, por sus siglas en inglés) y
- Sistemas de amarre con regasificación.

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

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 el muelle del FSRU.

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 gas de punta.

Los sistemas de amarre con regasificación pueden consistir en:

- Un sistema de amarre de punto único (SPM), en que las unidades de regasificación se instalan sobre la estructura de una torre fija. El transportador de GNL debe anclarse 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 de la tubería de gas; y
- Un sistema de amarre de torreta desconectable (RTM), que consiste en un sistema de anclaje y descarga que permite la descarga a alta presión desde un transportador de GNL con una planta de regasificación a bordo.

Gráfico A.1: Producción de gas natural licuado

