

## I. DISPOSICIONES GENERALES

### MINISTERIO DE ASUNTOS EXTERIORES Y DE COOPERACIÓN

**4763** *Código Internacional de Seguridad para los buques que utilicen gases u otros combustibles de bajo punto de inflamación (Código IGF) adoptado en Londres el 11 de junio de 2015 mediante Resolución MSC.391(95).*

**RESOLUCIÓN MSC.391(95)**  
(adoptada el 11 de junio de 2015)

**ADOPCIÓN DEL CÓDIGO INTERNACIONAL DE SEGURIDAD PARA LOS BUQUES  
QUE UTILICEN GASES U OTROS COMBUSTIBLES DE BAJO  
PUNTO DE INFLAMACIÓN (CÓDIGO IGF)**

EL COMITÉ DE SEGURIDAD MARÍTIMA,

RECORDANDO el artículo 28 b) del Convenio constitutivo de la Organización Marítima Internacional, artículo que trata de las funciones del Comité,

RECONOCIENDO la necesidad de un código obligatorio para los buques que consumen gases u otros combustibles de bajo punto de inflamación,

TOMANDO NOTA de la resolución MSC.392(95), mediante la cual adoptó, entre otras cosas, enmiendas a los capítulos II-1 y II-2 y al apéndice del Anexo del Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar, 1974 ("el Convenio"), a fin de conferir carácter obligatorio en virtud del Convenio a las disposiciones del Código internacional de seguridad para los buques que utilicen gases u otros combustibles de bajo punto de inflamación (Código IGF),

HABIENDO EXAMINADO, en su 95º periodo de sesiones, el proyecto de código internacional de seguridad para los buques que utilicen gases u otros combustibles de bajo punto de inflamación,

- 1 ADOPTA el Código IGF, cuyo texto figura en el anexo de la presente resolución;
- 2 INVITA a los Gobiernos Contratantes del Convenio a que tomen nota de que el Código IGF pasará a tener efecto el 1 de enero de 2017, al entrar en vigor las enmiendas a los capítulos II-1 y II-2 y al apéndice del Anexo del Convenio;
- 3 INVITA TAMBIÉN a los Gobiernos Contratantes a que consideren la posibilidad de aplicar el Código IGF con carácter voluntario, en la medida de lo posible, a los buques de carga de arqueo bruto inferior a 500 que utilicen gases u otros combustibles de bajo punto de inflamación;
- 4 RECONOCE que las prescripciones aplicables a otros combustibles de bajo punto de inflamación se añadirán al Código IGF conforme las vaya elaborando la Organización;
- 5 PIDE al Secretario General de la Organización que remita copias certificadas de la presente resolución y del texto del Código IGF, que figura en el anexo, a todos los Gobiernos Contratantes del Convenio;
- 6 PIDE TAMBIÉN al Secretario General de la Organización que remita copias de la presente resolución y del texto del Código IGF que figura en el anexo a todos los Miembros de la Organización que no sean Gobiernos Contratantes del Convenio.

## ANEXO

### CÓDIGO INTERNACIONAL DE SEGURIDAD PARA LOS BUQUES QUE UTILICEN GASES U OTROS COMBUSTIBLES DE BAJO PUNTO DE INFLAMACIÓN (CÓDIGO IGF)

## ÍNDICE

### 1 PREÁMBULO

#### PARTE A

### 2 GENERALIDADES

2.1 Ámbito de aplicación

2.2 Definiciones

2.3 Proyecto alternativo

### 3 OBJETIVO Y PRESCRIPCIONES FUNCIONALES

3.1 Objetivo

3.2 Prescripciones funcionales

### 4 PRESCRIPCIONES GENERALES

4.1 Objetivo

4.2 Evaluación de riesgos

4.3 Limitación de las consecuencias de explosiones

#### PARTE A-1 PRESCRIPCIONES ESPECÍFICAS RELATIVAS A LOS BUQUES QUE UTILICEN GAS NATURAL COMO COMBUSTIBLE

### 5 PROYECTO Y DISPOSICIÓN DEL BUQUE

5.1 Objetivo

5.2 Prescripciones funcionales

5.3 Reglas – Generalidades

5.4 Conceptos de espacios de máquinas

5.5 Reglas aplicables a los espacios de máquinas protegidos contra los gases

5.6 Reglas aplicables a los espacios de máquinas protegidos por desactivación en caso de emergencia

- 5.7 Reglas aplicables a la ubicación y protección de las tuberías de combustible
- 5.8 Reglas aplicables al proyecto de los cuartos de preparación del combustible
- 5.9 Reglas aplicables a los sistemas de sentina
- 5.10 Reglas aplicables a las bandejas de goteo
- 5.11 Reglas aplicables a la disposición de entradas y otras aberturas en espacios cerrados
- 5.12 Reglas aplicables a las esclusas neumáticas

## **6 SISTEMA DE CONTENCIÓN DE COMBUSTIBLE**

- 6.1 Objetivo
- 6.2 Prescripciones funcionales
- 6.3 Reglas – Generalidades
- 6.4 Reglas aplicables a la contención de combustible de gas licuado
- 6.5 Reglas aplicables a los tanques portátiles de combustible de gas licuado
- 6.6 Reglas aplicables a la contención de combustible GNC
- 6.7 Reglas aplicables al sistema de alivio de presión
- 6.8 Reglas aplicables al límite de carga de los tanques de combustible de gas licuado
- 6.9 Reglas aplicables al mantenimiento de la condición de almacenamiento del combustible
- 6.10 Reglas aplicables al control de la atmósfera en el interior del sistema de contención de combustible
- 6.11 Reglas aplicables al control de la atmósfera en el interior de los espacios de bodega de almacenamiento de combustible (sistemas de contención de combustible que no sean tanques independientes de tipo C)
- 6.12 Reglas aplicables al control ambiental de los espacios que rodean a los tanques independientes de tipo C
- 6.13 Reglas aplicables a la inertización
- 6.14 Reglas aplicables a la producción y el almacenamiento de gas inerte a bordo

## **7 PROYECTO GENERAL DE TUBERÍAS Y DE MATERIALES**

- 7.1 Objetivo
- 7.2 Prescripciones funcionales

7.3 Reglas aplicables al proyecto general de tuberías

7.4 Reglas aplicables a los materiales

## **8 TOMA DE COMBUSTIBLE**

8.1 Objetivo

8.2 Prescripciones funcionales

8.3 Reglas aplicables al puesto de toma de combustible

8.4 Reglas aplicables al colector

8.5 Reglas aplicables al sistema de toma de combustible

## **9 SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE A LOS DISPOSITIVOS DE CONSUMO**

9.1 Objetivo

9.2 Prescripciones funcionales

9.3 Reglas aplicables a la duplicación del suministro de combustible

9.4 Reglas aplicables a las funciones de seguridad del sistema de suministro de gas

9.5 Reglas aplicables a la distribución de combustible fuera del espacio de máquinas

9.6 Reglas aplicables al suministro de combustible a los dispositivos de consumo en espacios de máquinas protegidos contra los gases

9.7 Reglas aplicables al suministro de combustible de gas a los dispositivos de consumo en espacios de máquinas protegidos por desactivación en caso de emergencia

9.8 Reglas aplicables al proyecto de los conductos ventilados y las tuberías exteriores contra fugas de gas de las tuberías interiores

9.9 Reglas aplicables a compresores y bombas

## **10 GENERACIÓN DE POTENCIA, INCLUIDA LA PROPULSIÓN Y OTROS DISPOSITIVOS DE CONSUMO DE GAS**

10.1 Objetivo

10.2 Prescripciones funcionales

10.3 Reglas aplicables a los motores de combustión interna de pistones

10.4 Reglas aplicables a las calderas principales y auxiliares

10.5 Reglas aplicables a las turbinas de gas

## **11 SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS**

- 11.1 Objetivo
- 11.2 Prescripciones funcionales
- 11.3 Reglas aplicables a la prevención contra incendios
- 11.4 Reglas aplicables al colector contra incendios
- 11.5 Reglas aplicables al sistema de aspersión de agua
- 11.6 Reglas aplicables al sistema de extinción de incendios a base de polvo químico seco
- 11.7 Reglas aplicables al sistema de detección de incendios y de alarma contra incendios

## **12 PREVENCIÓN DE EXPLOSIONES**

- 12.1 Objetivo
- 12.2 Prescripciones funcionales
- 12.3 Reglas – Generalidades
- 12.4 Reglas aplicables a la clasificación de zonas
- 12.5 Emplazamientos de zonas potencialmente peligrosas

## **13 VENTILACIÓN**

- 13.1 Objetivo
- 13.2 Prescripciones funcionales
- 13.3 Reglas – Generalidades
- 13.4 Reglas aplicables a los espacios de las conexiones de los tanques
- 13.5 Reglas aplicables a los espacios de máquinas
- 13.6 Reglas aplicables a los cuartos de preparación del combustible
- 13.7 Reglas aplicables a los puestos de toma de combustible
- 13.8 Reglas aplicables a los conductos y tuberías dobles

## **14 INSTALACIONES ELÉCTRICAS**

- 14.1 Objetivo
- 14.2 Prescripciones funcionales
- 14.3 Reglas – Generalidades

## **15 SISTEMAS DE CONTROL, VIGILANCIA Y SEGURIDAD**

- 15.1 Objetivo
- 15.2 Prescripciones funcionales
- 15.3 Reglas – Generalidades
- 15.4 Reglas aplicables a la vigilancia de la toma de combustible y los tanques de combustible de gas licuado
- 15.5 Reglas aplicables al control de la toma de combustible
- 15.6 Reglas aplicables a la vigilancia de los compresores de gas
- 15.7 Reglas aplicables a la vigilancia de los motores de gas
- 15.8 Reglas aplicables a la detección de gas
- 15.9 Reglas aplicables a la detección de incendios
- 15.10 Reglas aplicables a la ventilación
- 15.11 Reglas aplicables a las funciones de seguridad de los sistemas de suministro de combustible

## **ANEXO NORMA PARA LA UTILIZACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE ESTADO LÍMITE EN EL PROYECTO DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN DE COMBUSTIBLE DE CARACTERÍSTICAS INNOVADORAS**

### **PARTE B-1**

## **16 FABRICACIÓN, CALIDAD Y PRUEBAS**

- 16.1 Generalidades
- 16.2 Reglas y especificaciones generales relativas a las pruebas
- 16.3 Soldadura de materiales metálicos y pruebas no destructivas del sistema de contención de combustible
- 16.4 Otras reglas para la construcción con materiales metálicos
- 16.5 Pruebas
- 16.6 Soldaduras, termotratamiento postsoldadura y pruebas no destructivas
- 16.7 Reglas aplicables a las pruebas

## PARTE C-1

### 17 EJERCICIOS Y PRÁCTICAS DE EMERGENCIA

### 18 FUNCIONAMIENTO

18.1 Objetivo

18.2 Prescripciones funcionales

18.3 Reglas aplicables al mantenimiento

18.4 Reglas aplicables a las operaciones de toma de combustible

18.5 Reglas aplicables a las entradas en espacios cerrados

18.6 Reglas aplicables a la inertización y la purga de los sistemas de combustible

18.7 Reglas aplicables a trabajos en caliente en los sistemas de combustible o en sus cercanías

## ANEXO NOTA DE ENTREGA DE COMBUSTIBLE GNL

## PARTE D

### 19 FORMACIÓN

19.1 Objetivo

19.2 Prescripciones funcionales

## 1 PREÁMBULO

La finalidad del presente código es facilitar una norma internacional para los buques que utilicen combustibles de bajo punto de inflamación, excepto aquéllos que estén regidos por el Código CIG.

La filosofía fundamental del presente código es establecer disposiciones de carácter obligatorio para la disposición, la instalación, el control y la vigilancia de la maquinaria, el equipo y los sistemas que utilizan combustibles de bajo punto de inflamación a fin de reducir al mínimo los riesgos para el buque, la tripulación y el medio ambiente, tomando en consideración la naturaleza de los combustibles utilizados.

En todo momento durante la elaboración del presente código se reconoció que éste debía basarse en principios firmes de arquitectura y de ingeniería navales y en el conocimiento más completo disponible de la experiencia operacional, los datos recogidos en el terreno y las actividades de investigación y desarrollo actuales. Dada la rápida evolución que experimenta la tecnología de los nuevos combustibles, la Organización revisará el presente código periódicamente, teniendo en cuenta para ello la experiencia y las innovaciones técnicas.

El presente código aborda todos los ámbitos que requieren atención especial en cuanto al consumo de combustibles de bajo punto de inflamación. La filosofía fundamental del Código IGF tiene en cuenta el enfoque basado en objetivos (circular MSC.1/Circ.1394). Por tanto, se especificaron objetivos y prescripciones funcionales para cada una de las secciones que forman la base para el proyecto, la construcción y el funcionamiento.

La versión actual del presente código incluye reglas para cumplir las prescripciones funcionales relativas al combustible de gas natural. Las reglas para otros combustibles de bajo punto de inflamación se irán añadiendo a este código a medida que las vaya elaborando la Organización.

En el ínterin, por lo que se refiere a otros combustibles de bajo punto de inflamación, el cumplimiento de las prescripciones funcionales del Código se deberá demostrar a través de proyectos alternativos.

## PARTE A

**2 GENERALIDADES****2.1 Ámbito de aplicación**

Salvo disposición expresa en otro sentido, el presente código se aplica a los buques regidos por la parte G del capítulo II-1 del Convenio SOLAS

**2.2 Definiciones**

A menos que se indique lo contrario, las definiciones utilizadas son las del capítulo II-2 del Convenio SOLAS.

**2.2.1 *Accidente:*** suceso no previsto que puede ocasionar la pérdida de vidas humanas, lesiones, daños ambientales o la pérdida de bienes e intereses financieros.

**2.2.2 *Manga (B):*** manga máxima de trazado del buque, medida a la altura del calado máximo de compartimentado o por debajo de éste (calado de la línea de carga de verano) (véase la regla II-1/2.8 del Convenio SOLAS).

**2.2.3 *Toma de combustible:*** trasvase de combustible líquido o gaseoso de una instalación en tierra o flotante a los tanques permanentes de los buques o una conexión de tanques portátiles al sistema de suministro de combustible.

**2.2.4 *Tipo certificado como seguro:*** equipo eléctrico certificado como seguro por las autoridades competentes reconocidas por la Administración para funcionar en una atmósfera inflamable, sobre la base de una norma reconocida.

**2.2.5 *GNC:*** gas natural comprimido (véase también 2.2.26).

**2.2.6 *Puestos de control:*** espacios definidos en el capítulo II-2 del Convenio SOLAS y, en este código, también la sala de control de máquinas.

**2.2.7 *Temperatura de proyecto:*** a los efectos de la selección de materiales, es la temperatura mínima a la que se puede cargar o transportar combustible de gas licuado en los tanques de combustible de gas licuado.

**2.2.8 *Presión de vapor de proyecto ("P<sub>0</sub>"):*** presión manométrica máxima, medida en la parte superior del tanque, que se utiliza para proyectar el tanque.

**2.2.9 *Válvulas de doble bloqueo y purga:*** juego de dos válvulas conectadas en serie en una tubería y una tercera que permite descargar presión de la tubería situada entre las dos válvulas. En lugar del juego de tres válvulas independientes, también puede utilizarse una disposición de una válvula bidireccional y una válvula de cierre.

**2.2.10 *Motor bicomcombustible:*** motor que consume combustibles tratados en el presente código (con combustible piloto) y combustibles líquidos. Los combustibles líquidos pueden ser destilados o residuales.

**2.2.11 *Espacio cerrado:*** espacio dentro del cual, ante la falta de ventilación artificial, la ventilación será limitada y las atmósferas explosivas no se dispersarán de manera natural.

**2.2.12 *ESD:*** desactivación en caso de emergencia.

2.2.13 *Explosión*: deflagración en la que la combustión es incontrolada.

2.2.14 *Alivio de la presión contra explosiones*: medidas que se adoptan para evitar que la presión de explosión de un contenedor o espacio cerrado supere la sobrepresión máxima para la cual está proyectado el contenedor o el espacio, y que permiten reducir la sobrepresión por orificios destinados a tal fin.

2.2.15 *Sistema de contención de combustible*: disposición para el almacenamiento del combustible, incluidas las conexiones de los tanques. Incluye además, si están instaladas, una barrera primaria y una secundaria, el aislamiento correspondiente y todo espacio intermedio, y la estructura adyacente, de ser necesaria, para sustentar estos elementos. Si la barrera secundaria forma parte de la estructura del casco, puede ser un mamparo del espacio de bodega de almacenamiento de combustible.

Los espacios que rodean el tanque de combustible son los siguientes:

- .1 *Espacio de bodega de almacenamiento de combustible*: espacio encerrado por la estructura del buque en el que está situado el sistema de contención de combustible. Si las conexiones del tanque están situadas en este espacio, también será un espacio de las conexiones de los tanques;
- .2 *Espacio interbarreras*: espacio entre una barrera primaria y una barrera secundaria, independientemente de si se encuentra revestido total o parcialmente con material de aislamiento u otro material; y
- .3 *Espacio de las conexiones de los tanques*: espacio que rodea todas las conexiones de los tanques y las válvulas de los tanques que se requiere en los espacios cerrados para los tanques con ese tipo de conexiones.

2.2.16 *Límite de llenado*: volumen máximo de líquido en un tanque de combustible en relación con el volumen total del tanque cuando el combustible líquido ha alcanzado la temperatura de referencia.

2.2.17 *Cuarto de preparación del combustible*: todo espacio que contenga bombas, compresores y/o vaporizadores para la preparación del combustible.

2.2.18 *Gas*: fluido con una presión de vapor superior a 0,28 MPa absolutos a una temperatura de 37,8 °C.

2.2.19 *Dispositivo de gas*: toda unidad dentro del buque que consuma gas como combustible.

2.2.20 *Motor sólo de gas*: motor que sólo funciona con gas y que no admite el cambio a funcionamiento con ningún otro tipo de combustible.

2.2.21 *Zona potencialmente peligrosa*: zona en la cual existe o se puede prever que exista una atmósfera de gases explosivos en cantidades tales que requieren precauciones especiales para la construcción, la instalación y el empleo de equipo.

2.2.22 *Alta presión*: presión máxima de servicio superior a 1,0 MPa.

2.2.23 *Tanques independientes*: tanques que son autoportantes. No forman parte del casco del buque ni resultan esenciales para la resistencia del casco.

- 2.2.24 *LEL*: límite inferior de explosividad.
- 2.2.25 *Eslora (L)*: eslora tal como se define en el Convenio internacional sobre líneas de carga vigente.
- 2.2.26 *GNL*: gas natural licuado.
- 2.2.27 *Límite de carga*: volumen máximo admisible de líquido en relación con el volumen al cual se puede cargar el tanque.
- 2.2.28 *Combustible de bajo punto de inflamación*: combustible líquido o gaseoso cuyo punto de inflamación es inferior al que se permite en los demás casos en el párrafo 2.1.1 de la regla II-2/4 del Convenio SOLAS.
- 2.2.29 *MARVS*: tarado máximo admisible de la válvula aliviadora de presión.
- 2.2.30 *PSMA*: presión de servicio máxima autorizada de un componente del sistema o tanque.
- 2.2.31 *Tanques de membrana*: tanques que no son autoportantes y que están provistos de una capa fina estanca a los líquidos y al gas (membrana), sujetada mediante aislamiento por la estructura del casco adyacente.
- 2.2.32 *Motor multicomcombustible*: motor que puede utilizar dos o más combustibles diferentes separados entre sí.
- 2.2.33 *Zona no potencialmente peligrosa*: zona en la cual no se prevé que se forme una atmósfera de gas explosiva en cantidades que requieran precauciones especiales para la construcción, la instalación y el empleo de equipo.
- 2.2.34 *Cubierta expuesta*: cubierta que no presenta ningún riesgo considerable de incendio y que está abierta por lo menos por ambos extremos/bandas, o que está abierta en un extremo y tiene ventilación natural adecuada y eficaz en toda su longitud mediante aberturas permanentes distribuidas en el mamparo de cierre lateral o en el techo del entrepuente.
- 2.2.35 *Riesgo*: término que expresa la combinación de la probabilidad y la gravedad de las consecuencias.
- 2.2.36 *Temperatura de referencia*: temperatura correspondiente a la presión de vapor del combustible en un tanque de combustible que esté a la presión de tarado de las válvulas aliviadoras de presión.
- 2.2.37 *Barrera secundaria*: elemento exterior resistente a líquidos de un sistema de contención de combustible, concebido para proporcionar una contención temporal de toda fuga de combustible líquido que se prevea a través de la barrera primaria, y para evitar el descenso de la temperatura de la estructura del buque a un nivel que comprometa la seguridad.
- 2.2.38 *Espacio semicerrado*: espacio en que las condiciones naturales de ventilación son considerablemente diferentes de las existentes en cubiertas expuestas debido a la presencia de estructuras como techos, guardavientos y mamparos dispuestos para evitar la dispersión de gases.

2.2.39 *Fuente de descarga*: punto o emplazamiento desde el cual se puede descargar a la atmósfera un gas, vapor, neblina o líquido que pudiera formar una atmósfera explosiva.

2.2.40 *Pérdida de potencia inadmisibles*: se produce cuando no es posible mantener o restablecer el funcionamiento normal de las máquinas propulsoras en el caso de que se inutilice una de las máquinas auxiliares esenciales, de conformidad con lo dispuesto en la regla II-1/26.3 del Convenio SOLAS.

2.2.41 *Presión de vapor*: presión de equilibrio del vapor saturado por encima del líquido, expresada en MPa absolutos a una temperatura dada.

### 2.3 Proyecto alternativo

2.3.1 El presente código contiene prescripciones funcionales aplicables a todos los dispositivos e instalaciones relacionados con el consumo de combustibles de bajo punto de inflamación.

2.3.2 Los combustibles, dispositivos e instalaciones de los sistemas de combustible de bajo punto de inflamación podrán:

- .1 diferir de los que se indican en este código; o
- .2 proyectarse para que se utilicen con un combustible al que no se hace referencia específica en este código.

Estos combustibles, dispositivos e instalaciones se podrán utilizar siempre que se ajusten al propósito del objetivo y de las prescripciones funcionales pertinentes y que brinden un nivel de seguridad equivalente al de los capítulos correspondientes.

2.3.3 La equivalencia del proyecto alternativo se demostrará como se especifica en la regla II-1/55 del Convenio SOLAS, y deberá aprobarla la Administración. Sin embargo, la Administración no permitirá la aplicación de métodos o procedimientos operacionales como alternativa de un determinado accesorio, material, dispositivo, aparato o elemento de equipo o de cierto tipo de éstos que esté prescrito por el presente código.

## 3 OBJETIVO Y PRESCRIPCIONES FUNCIONALES

### 3.1 Objetivo

Este código tiene por objeto promover el proyecto, la construcción y el funcionamiento de los buques en condiciones seguras y ecológicas, y en particular de sus instalaciones de sistemas de máquinas propulsoras, maquinaria auxiliar de generación eléctrica y/o maquinaria para otros fines que utilicen como combustible gas o combustibles de bajo punto de inflamación.

### 3.2 Prescripciones funcionales

3.2.1 Los sistemas brindarán un nivel de seguridad, fiabilidad y confianza que sea equivalente al que proporcionan las máquinas principales y auxiliares convencionales, tanto nuevas como comparables, que consumen combustibles líquidos.

3.2.2 La probabilidad y las consecuencias de los peligros potenciales relacionados con el combustible se reducirán al mínimo mediante la disposición y el proyecto de los sistemas, por ejemplo, la ventilación, la detección y las medidas de seguridad. En caso de fuga de gas o de fallo de las medidas de reducción de riesgos, se tomarán las medidas de seguridad necesarias.

3.2.3 Los criterios de proyecto garantizarán que las medidas de reducción de riesgos y las medidas de seguridad que se apliquen a la instalación de combustible de gas no comporten una pérdida de potencia inadmisibile.

3.2.4 Se limitarán, en la medida de lo posible, las zonas potencialmente peligrosas con el fin de reducir al mínimo los riesgos que puedan afectar a la seguridad del buque, las personas a bordo y el equipo.

3.2.5 El equipo instalado en zonas potencialmente peligrosas se reducirá al mínimo requerido para fines operacionales, y deberá estar adecuada y debidamente certificado.

3.2.6 Se evitará la acumulación no deliberada de concentraciones de gas explosivo, inflamable o tóxico.

3.2.7 Los componentes del sistema deberán estar protegidos de daños externos.

3.2.8 Se reducirán a un mínimo las fuentes de ignición en las zonas potencialmente peligrosas para reducir la probabilidad de explosiones.

3.2.9 Se dispondrán medios seguros y adecuados de suministro, almacenamiento y toma de combustible que permitan recibir y contener el combustible en el estado necesario sin que haya fugas. Salvo cuando sea necesario por motivos de seguridad, el sistema se proyectará de manera que se evite la respiración en todas las condiciones normales de funcionamiento, incluidos los periodos de inactividad.

3.2.10 Se proveerán sistemas de tuberías y de contención y medios de alivio de sobrepresión cuyo proyecto, construcción e instalación sean adecuados para la aplicación prevista para ellos.

3.2.11 La maquinaria, los sistemas y los componentes se proyectarán, construirán, instalarán, operarán, mantendrán y protegerán para garantizar el funcionamiento seguro y fiable.

3.2.12 El sistema de contención de combustible y los espacios de máquinas que contengan fuentes que puedan descargar gas en el espacio se dispondrán y emplazarán de modo tal que un incendio o una explosión en cualquiera de ellos no comporte una pérdida de potencia inadmisibile ni deje fuera de funcionamiento equipo en otros compartimientos.

3.2.13 Se proveerán sistemas de control, alarma, vigilancia y desactivación adecuados para garantizar el funcionamiento seguro y fiable.

3.2.14 Se dispondrá de un sistema fijo de detección de gas adecuado para todos los espacios y zonas pertinentes.

3.2.15 Se adoptarán medidas de detección, protección y extinción de incendios adecuadas para los peligros potenciales pertinentes.

3.2.16 La puesta en servicio, las pruebas y el mantenimiento de los sistemas de combustible y de la maquinaria que consuma gas cumplirán el objetivo en cuanto a seguridad, disponibilidad y fiabilidad.

3.2.17 La documentación técnica permitirá evaluar que el sistema y sus componentes cumplen las reglas, directrices y normas de proyecto aplicables, y los principios relativos a la seguridad, disponibilidad, capacidad de mantenimiento y fiabilidad.

3.2.18 Un fallo aislado de un sistema o componente técnico no debería dar lugar a una situación peligrosa o que inspire desconfianza.

## **4 PRESCRIPCIONES GENERALES**

### **4.1 Objetivo**

El objetivo de este capítulo es garantizar que se realicen las evaluaciones necesarias de los riesgos implícitos con el fin de eliminar o mitigar cualquier efecto adverso para las personas a bordo, el medio ambiente o el buque.

### **4.2 Evaluación de riesgos**

4.2.1 Se hará una evaluación de riesgos con el fin de garantizar que se preste atención a los riesgos que conlleva la utilización de combustibles de bajo punto de inflamación para las personas a bordo, el medio ambiente, la resistencia estructural y la integridad del buque. Después de un fallo razonablemente previsible, se tendrán en cuenta los riesgos potenciales que conlleven la disposición física, el funcionamiento y el mantenimiento.

4.2.2 En el caso de los buques a los cuales se aplica la parte A-1, solamente será necesario efectuar la evaluación de riesgos prescrita en el párrafo 4.2.1 cuando así se estipule explícitamente en los párrafos 5.10.5, 5.12.3, 6.4.1.1, 6.4.15.4.7.2, 8.3.1.1, 13.4.1, 13.7 y 15.8.1.10, y en los párrafos 4.4 y 6.8 del anexo.

4.2.3 Los riesgos se analizarán con técnicas de análisis de riesgos aceptables y reconocidas y, como mínimo, se tendrán en cuenta la pérdida de función, los daños de los componentes, los incendios, las explosiones y las descargas eléctricas. El análisis garantizará que se eliminen los riesgos siempre que sea posible. Los riesgos que no puedan eliminarse se mitigarán tanto como sea necesario. Los pormenores de los riesgos, y los medios para mitigarlos, se documentarán de manera satisfactoria a juicio de la Administración.

### **4.3 Limitación de las consecuencias de explosiones**

Una explosión en cualquier espacio abierto que contenga posibles fuentes de descarga y posibles fuentes de ignición no deberá:

- .1 causar daños, ni interrumpir el funcionamiento adecuado, de equipos o sistemas emplazados en ningún otro espacio que no sea el espacio en el cual ocurre el suceso;
- .2 dañar el buque de modo que se produzca una inundación por debajo de la cubierta principal o cualquier otra inundación progresiva de agua;
- .3 dañar zonas de trabajo o de alojamiento de modo tal que las personas que permanezcan en dichas zonas en condiciones normales de funcionamiento resulten lesionadas;
- .4 interrumpir el funcionamiento adecuado de los puestos de control y las cámaras de distribución eléctrica necesarias para el suministro eléctrico;
- .5 dañar el equipo de salvamento o los medios conexos de puesta a flote;

- .6 perturbar el funcionamiento adecuado del equipo de lucha contra incendios situado fuera del espacio dañado por la explosión;
- .7 afectar a otras zonas del buque de modo tal que puedan ocurrir reacciones en cadena que afecten, entre otras cosas, a la carga, el gas y los hidrocarburos para combustible; o
- .8 impedir el acceso de las personas a los dispositivos de salvamento ni obstaculizar las vías de evacuación.

## PARTE A-1

### PRESCRIPCIONES ESPECÍFICAS RELATIVAS A LOS BUQUES QUE UTILICEN GAS NATURAL COMO COMBUSTIBLE

En el contexto de las reglas de esta parte, *combustible* significa gas natural, en estado licuado o gaseoso.

Conviene recordar que la composición del gas natural podrá variar en función de su fuente y de los procesos a los que se haya sometido.

#### 5 PROYECTO Y DISPOSICIÓN DEL BUQUE

##### 5.1 Objetivo

El objetivo de este capítulo es disponer el emplazamiento seguro, la distribución adecuada del espacio y la protección mecánica del equipo de generación de potencia, los sistemas de almacenamiento de combustible, el equipo de suministro de combustible y los sistemas de reaprovisionamiento de combustible.

##### 5.2 Prescripciones funcionales

5.2.1 Este capítulo está relacionado con las prescripciones funcionales 3.2.1 a 3.2.3, 3.2.5, 3.2.6, 3.2.8, 3.2.12 a 3.2.15 y 3.2.17. En particular, se dispone que:

- .1 el tanque o los tanques de combustible estarán situados de tal manera que la probabilidad de que resulten averiados por abordaje o varada se reduzca a un mínimo teniendo en cuenta el funcionamiento del buque en condiciones de seguridad y los peligros potenciales pertinentes;
- .2 los sistemas de contención de combustible, las tuberías de combustible y otras fuentes de descarga de combustible se encontrarán emplazados y dispuestos de tal manera que el gas descargado salga a un lugar seguro al aire libre;
- .3 los accesos u otras aberturas que den a espacios que contengan fuentes de descarga de combustible se dispondrán de tal manera que los gases inflamables, asfixiantes o tóxicos no puedan escapar a espacios que no están proyectados para la presencia de tales gases;
- .4 las tuberías de combustible estarán protegidas de daños mecánicos;
- .5 el sistema de propulsión y de suministro de combustible estará proyectado de tal manera que una fuga de gas no comporte una pérdida de potencia inadmisibles; y
- .6 se reducirá al mínimo la probabilidad de una explosión de gas en espacios de máquinas alimentadas con gas o combustibles de bajo punto de inflamación.

##### 5.3 Reglas – Generalidades

5.3.1 Los tanques de almacenamiento de combustible estarán protegidos de daños mecánicos.

5.3.2 Los tanques de almacenamiento de combustible y el equipo situado en la cubierta expuesta estarán instalados de modo que tengan suficiente ventilación natural para evitar la acumulación de gas en caso de fugas.

5.3.3 El tanque o los tanques de combustible se protegerán de averías externas causadas por abordaje o varada de la manera siguiente:

- .1 Los tanques de combustible estarán emplazados a una distancia mínima de  $B/5$  o 11,5 m, si ésta es menor, medida desde el costado del buque perpendicularmente al eje longitudinal en el nivel de calado de la línea de carga de verano;

donde:

B es la manga máxima de trazado del buque, medida a la altura del calado máximo o por debajo de éste (calado de la línea de carga de verano) (véase la regla II-1/2.8 del Convenio SOLAS).

- .2 Se considerará que los límites de cada tanque de combustible son los límites exteriores extremos longitudinales, transversales y verticales de la estructura del tanque, incluidas sus válvulas.
- .3 Para los tanques independientes, la distancia de protección se medirá con respecto al forro del tanque (la barrera primaria del sistema de contención del tanque). En los tanques de membrana, la distancia se medirá con respecto a los mamparos que rodean el aislamiento del tanque.
- .4 En ningún caso se emplazará el límite del tanque de combustible a una distancia de las planchas del forro o del extremo popel del buque que sea menor que la siguiente:

- .1 en el caso de los buques de pasaje:  $B/10$ , pero en ningún caso menos de 0,8 m. No obstante, esta distancia no tiene que ser superior a  $B/15$  o 2 m, si este valor es menor, cuando las planchas del forro están situadas por dentro a una distancia mínima igual a  $B/5$  u 11,5 m, si este valor es menor, como se dispone en 5.3.3.1.

- .2 En el caso de los buques de carga:

- .1 para  $V_c$  inferior o igual a 1 000 m<sup>3</sup>, 0,8 m;
- .2 para  $1\ 000\ \text{m}^3 < V_c < 5\ 000\ \text{m}^3$ ,  $0,75 + V_c \times 0,2/4\ 000$  m;
- .3 para  $5\ 000\ \text{m}^3 \leq V_c < 30\ 000\ \text{m}^3$ ,  $0,8 + V_c/25\ 000$  m; y
- .4 para  $V_c \geq 30\ 000\ \text{m}^3$ , 2 m,

donde:

$V_c$  corresponde al 100 % del volumen bruto de proyecto del tanque de combustible en cuestión a 20 °C, incluidas las bóvedas y apéndices.

- .5 El límite más bajo del tanque o los tanques de combustible estará situado por encima de una distancia mínima de  $B/15$  o 2,0 m, si ésta es menor, medida desde la línea de trazado de la chapa del forro del fondo en el eje longitudinal.
- .6 Para los buques multicasco, el valor de B podrá considerarse especialmente.
- .7 El tanque o tanques de combustible estarán a popa de un plano transversal, a una distancia de 0,08 L, medida desde la perpendicular de proa, de conformidad con la regla II-1/8.1 del Convenio SOLAS para los buques de pasaje, y a popa del mamparo de colisión para los buques de carga;

donde:

L es la eslora, como se define en el Convenio internacional sobre líneas de carga (véase la regla II-1/2.5 del Convenio SOLAS).

- .8 En el caso de los buques con una estructura del casco que proporcione una resistencia mayor a abordajes y/o varadas, las prescripciones relativas a la ubicación de los tanques de combustible se podrán considerar especialmente de conformidad con lo dispuesto en la sección 2.3.

5.3.4 Como alternativa al apartado 5.3.3.1 *supra*, podrá utilizarse el siguiente método de cálculo para determinar la ubicación aceptable de los tanques de combustible:

- .1 El valor  $f_{CN}$  calculado que se describe a continuación será inferior a 0,02 para los buques de pasaje y a 0,04 para los buques de carga.
- .2 El  $f_{CN}$  se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$f_{CN} = f_l \cdot f_t \cdot f_v$$

donde:

$f_l$  se calcula utilizando las fórmulas para el factor p que figuran en la regla II-1/7-1.1.1.1 del Convenio SOLAS. El valor de  $x_1$  corresponderá a la distancia entre el extremo popel y el límite popel del tanque de combustible, y el valor de  $x_2$  corresponderá a la distancia entre el extremo popel y el límite proel del tanque de combustible.

$f_t$  se calcula mediante las fórmulas para el factor r que figuran en la regla II-1/7-1.1.2 del Convenio SOLAS, y refleja la probabilidad de que la avería penetre más allá del límite exterior del tanque de combustible. La fórmula es:

$$f_t = 1 - r(x_1, x_2, b)$$

$f_v$  se calcula utilizando las fórmulas para el factor v que figuran en la regla II-1/7-2.6.1.1 del Convenio SOLAS, y refleja la probabilidad de que la avería no se extienda verticalmente por encima del límite más bajo del tanque de combustible. Se utilizarán las siguientes fórmulas:

$f_v = 1,0 - 0,8 ((H - d) / 7,8)$ , si  $(H - d)$  es inferior o igual a 7,8 m.  $f_v$  no se considerará superior a 1.

$f_v = 0,2 - (0,2 ((H - d) - 7,8) / 4,7)$ , en los demás casos.  $f_v$  no se considerará inferior a 0.

donde:

$H$  es la distancia (en metros) desde la línea de base al límite inferior del tanque de combustible; y

$d$  es el calado más profundo (calado de la línea de carga de verano).

- .3 Se considerará que los límites de cada tanque de combustible son los límites exteriores extremos longitudinales, transversales y verticales de la estructura del tanque, incluidas sus válvulas.
  - .4 Para los tanques independientes, la distancia de protección se medirá con respecto al forro del tanque (la barrera primaria del sistema de contención del tanque). En los tanques de membrana la distancia se medirá con respecto a los mamparos que rodean el aislamiento del tanque.
  - .5 En ningún caso se situará el límite del tanque de combustible a una distancia de las planchas del forro o del extremo popel del buque que sea menor que la siguiente:
    - .1 En el caso de los buques de pasaje:  $B/10$ , pero en ningún caso menos de 0,8 m. No obstante, esta distancia no tiene que ser superior a  $B/15$  o 2 m, si este valor es menor, cuando las planchas del forro estén situadas por dentro a una distancia mínima igual a  $B/5$  u 11,5 m, si este valor es menor, como se dispone en 5.3.3.1.
    - .2 En el caso de los buques de carga:
      - .1 para  $V_c$  inferior o igual a 1 000 m<sup>3</sup>, 0,8 m;
      - .2 para  $1\ 000\ \text{m}^3 < V_c < 5\ 000\ \text{m}^3$ ,  $0,75 + V_c \times 0,2/4\ 000$  m;
      - .3 para  $5\ 000\ \text{m}^3 \leq V_c < 30\ 000\ \text{m}^3$ ,  $0,8 + V_c/25\ 000$  m; y
      - .4 para  $V_c \geq 30\ 000\ \text{m}^3$ , 2 m,
- donde:
- $V_c$  corresponde al 100 % del volumen bruto de proyecto del tanque de combustible en cuestión a 20 °C, incluidas las bóvedas y apéndices.
- .6 En caso de que haya más de un tanque de combustible que no esté superpuesto en la dirección longitudinal,  $f_{CN}$  se calculará de conformidad con lo dispuesto en el párrafo 5.3.4.2 para cada tanque de combustible por separado. El valor utilizado para toda la instalación de tanques de combustible es la suma de todos los valores de  $f_{CN}$  obtenidos para cada tanque por separado.

- .7 En caso de que la instalación de tanques de combustible sea asimétrica con respecto al eje longitudinal del buque, los cálculos de  $f_{CN}$  se realizarán tanto a babor como a estribor y para la evaluación se utilizará el valor promedio. Se utilizará la distancia mínima estipulada en el párrafo 5.3.4.5 en ambas bandas.
- .8 En el caso de los buques con una estructura del casco que proporcione una resistencia mayor a abordajes y/o varadas, las prescripciones relativas a la ubicación de los tanques de combustible se podrán considerar especialmente de conformidad con lo dispuesto en la sección 2.3.

5.3.5 Cuando se transporte combustible en un sistema de contención que requiera una barrera secundaria completa o parcial:

- .1 los espacios de bodega para el almacenamiento de combustible estarán separados del mar por un doble fondo; y
- .2 el buque también contará con un mamparo longitudinal que forme tanques en el costado.

#### 5.4 Conceptos de espacios de máquinas

5.4.1 A fin de reducir al mínimo la probabilidad de que ocurra una explosión de gas en un espacio de máquinas alimentadas con gas podrá aplicarse uno de los siguientes conceptos alternativos:

- .1 Espacios de máquinas protegidos contra los gases: espacios de máquinas dispuestos de modo tal que se considera que están protegidos contra los gases en todas las condiciones, tanto normales como excepcionales, es decir, que están intrínsecamente protegidos contra los gases.

En un espacio de máquinas protegido contra los gases, un fallo aislado no puede dar lugar a una descarga de combustible de gas en el interior del espacio de máquinas.

- .2 Espacios de máquinas protegidos por desactivación en caso de emergencia: espacios de máquinas dispuestos de modo tal que se considera que no son potencialmente peligrosos en condiciones normales, aunque en ciertas condiciones excepcionales pueden convertirse en potencialmente peligrosos. En condiciones excepcionales de peligro debido al gas, se desactivarán automáticamente el equipo (fuentes de ignición) y las máquinas que no son seguros, y el equipo o las máquinas que permanezcan en uso o se mantengan en funcionamiento en estas circunstancias serán de un tipo certificado como seguro.

En los espacios de máquinas protegidos por desactivación en caso de emergencia, un fallo aislado puede dar lugar a una descarga de gas en ese espacio. La respiración está proyectada para hacer frente a un supuesto de fuga máxima debida a fallos técnicos.

Los fallos que pueden dar lugar a concentraciones peligrosas de gases (por ejemplo, rupturas de tuberías de gas o fallos de juntas), se evitan con dispositivos de alivio de presión contra explosiones y medios de desactivación en caso de emergencia.

## 5.5 Reglas aplicables a los espacios de máquinas protegidos contra los gases

5.5.1 Un fallo aislado en el sistema de combustible no dará lugar a una descarga de gas en el espacio de máquinas.

5.5.2 Todas las tuberías de combustible situadas dentro del espacio de máquinas estarán encerradas en una cubierta estanca al gas, de conformidad con lo dispuesto en 9.6.

## 5.6 Reglas aplicables a los espacios de máquinas protegidos por desactivación en caso de emergencia

5.6.1 La protección por desactivación en caso de emergencia se limitará a los espacios de máquinas que han sido certificados para prestar servicio sin dotación permanente.

5.6.2 Se adoptarán medidas para proteger de explosiones y de daños a zonas situadas fuera del espacio de máquinas, y para garantizar que se cuente con medios duplicados para el suministro de energía. Se dispondrán, entre otros, los siguientes medios:

- .1 detector de gas;
- .2 dispositivo de cierre de válvula;
- .3 medios duplicados; y
- .4 ventilación eficaz.

5.6.3 Se podrá aceptar que las tuberías de suministro de gas situadas en los espacios de máquinas no tengan una envuelta externa estanca al gas si se cumplen las siguientes condiciones:

- .1 Los motores para generar potencia de propulsión y potencia eléctrica estarán instalados en dos o más espacios de máquinas que no tengan límites comunes a menos que se pueda probar de manera documentada que un siniestro dado no afectará a ambos espacios.
- .2 El espacio de las máquinas de gas contendrá solamente el mínimo de equipo, componentes y sistemas necesarios para garantizar que las máquinas se mantengan en funcionamiento.
- .3 Se contará con un sistema fijo de detección de gas dispuesto de modo que pueda interrumpir automáticamente el suministro de gas y desconectar todo el equipo y las instalaciones eléctricos que no sean de un tipo certificado como seguro.

5.6.4 Los motores estarán distribuidos en los distintos espacios de máquinas de modo que la interrupción del suministro de combustible a un espacio de máquinas cualquiera no cause una pérdida de potencia inadmisibles.

5.6.5 Los espacios de máquinas protegidos por desactivación en caso de emergencia y separados por un solo mamparo serán lo suficientemente sólidos para resistir los efectos de una explosión de gas local en uno de los dos espacios sin que esto afecte a la integridad del espacio adyacente y del equipo contenido en ese espacio.

5.6.6 Los espacios de máquinas protegidos por desactivación en caso de emergencia se proyectarán de forma que tengan una configuración geométrica que reduzca al mínimo la acumulación de gases o la formación de bolsas de gas.

5.6.7 El sistema de ventilación de los espacios de máquinas protegidos por desactivación en caso de emergencia se dispondrá de conformidad con lo dispuesto en el párrafo 13.5.

### **5.7 Reglas aplicables a la ubicación y protección de las tuberías de combustible**

5.7.1 No se instalarán tuberías de combustible a menos de 800 mm del costado del buque.

5.7.2 No se tenderán tuberías de combustible directamente a través de espacios de alojamiento, espacios de servicio, cámaras de equipo eléctrico ni puestos de control, según se definen en el Convenio SOLAS.

5.7.3 Las tuberías de combustible que se tiendan a través de espacios de carga rodada, espacios de categoría especial y cubiertas expuestas estarán protegidas contra daños mecánicos.

5.7.4 Las tuberías de combustible de gas tendidas en espacios de máquinas protegidos por desactivación en caso de emergencia estarán situadas tan lejos como sea posible de instalaciones eléctricas y de tanques que contengan líquidos inflamables.

5.7.5 Las tuberías de combustible de gas tendidas en espacios de máquinas protegidos por desactivación en caso de emergencia estarán protegidas contra daños mecánicos.

### **5.8 Reglas aplicables al proyecto de los cuartos de preparación del combustible**

Los cuartos de preparación del combustible deberán estar situados en una cubierta expuesta, a menos que estén dispuestos y equipados de conformidad con las reglas de este código aplicables a los espacios de las conexiones de los tanques.

### **5.9 Reglas aplicables a los sistemas de sentina**

5.9.1 Los sistemas de sentina situados en zonas en las que pueda haber un combustible cubierto por este código estarán separados del sistema de sentina de los espacios en los que no pueda haber dicho combustible.

5.9.2 Cuando el combustible se transporte en un sistema de contención de combustible que requiera una segunda barrera, se proveerán medios adecuados de drenaje para hacer frente a cualquier fuga en la bodega o en los espacios de aislamiento a través de la estructura adyacente del buque. El sistema de sentina no conducirá a bombas situadas en espacios protegidos. Se dispondrán medios de detección de dichas fugas.

5.9.3 La bodega o los espacios interbarreras de los tanques independientes de tipo A para gas líquido dispondrán de un sistema de drenaje adecuado para recoger el combustible líquido en caso de fuga o rotura del tanque de combustible.

### **5.10 Reglas aplicables a las bandejas de goteo**

5.10.1 Se instalarán bandejas de goteo en los lugares en que puedan producirse fugas que dañen la estructura del buque o cuando sea necesario limitar la zona afectada por un derrame.

5.10.2 Las bandejas de goteo serán de un material adecuado.

5.10.3 La bandeja de goteo estará aislada térmicamente de la estructura del buque, de manera que las estructuras adyacentes del casco o la cubierta no queden expuestas a un enfriamiento inaceptable en caso de fuga de combustible líquido.

5.10.4 Todas las bandejas estarán provistas de una válvula de drenaje que permita descargar el agua de lluvia por el costado del buque.

5.10.5 Todas las bandejas tendrán capacidad suficiente para recibir la cantidad máxima de líquido derramado con arreglo a la evaluación de riesgos.

## **5.11 Reglas aplicables a la disposición de entradas y otras aberturas en espacios cerrados**

5.11.1 No se permitirá el acceso directo desde una zona no potencialmente peligrosa a una zona potencialmente peligrosa. Cuando estas aberturas sean necesarias por razones operacionales, se dispondrá una esclusa neumática que cumpla lo dispuesto en 5.12.

5.11.2 Si se aprueba que el cuarto de preparación del combustible esté bajo cubierta, se dispondrá, en la medida de lo posible, un acceso independiente directo desde la cubierta expuesta. Cuando no sea viable disponer un acceso independiente, se instalará una esclusa neumática de conformidad con lo dispuesto en 5.12.

5.11.3 A menos que el acceso al espacio de las conexiones de los tanques sea independiente y directo desde la cubierta expuesta, se dispondrá una escotilla con pasador. El espacio en que se encuentre la escotilla con pasador se considerará un espacio potencialmente peligroso.

5.11.4 Si el acceso a un espacio de máquinas protegido por desactivación en caso de emergencia es desde otro espacio cerrado del buque, las entradas irán provistas de una esclusa neumática que cumpla lo dispuesto en 5.12.

5.11.5 En el caso de espacios inertizados, los medios de acceso serán tales que se impida la entrada no intencional del personal. Si el acceso a dichos espacios no es desde la cubierta expuesta, los medios de estanquidad garantizarán que no haya fugas de gas inerte hacia los espacios adyacentes.

## **5.12 Reglas aplicables a las esclusas neumáticas**

5.12.1 Una esclusa neumática es un espacio cerrado con mamparos estancos al gas y dos puertas de un alto grado de estanquidad al gas espaciadas entre sí un mínimo de 1,5 m y un máximo de 2,5 m. A menos que rijan las prescripciones del Convenio internacional sobre líneas de carga, el umbral de la puerta tendrá una altura mínima de 300 mm. Las puertas serán de cierre automático, sin dispositivos de retención.

5.12.2 Las esclusas neumáticas se ventilarán mecánicamente a una sobrepresión relativa a la zona o el espacio potencialmente peligrosos adyacentes.

5.12.3 Las esclusas neumáticas se proyectarán de tal manera que no pueda haber descargas de gas a espacios seguros en caso de que se produzca el suceso más crítico posible en el espacio peligroso a causa del gas separado por la esclusa neumática. Los sucesos se evaluarán en el análisis de riesgos de conformidad con lo dispuesto en 4.2.

5.12.4 Las esclusas neumáticas tendrán una configuración geométrica sencilla. Proporcionarán un paso fácil y despejado y ocuparán una superficie de cubierta de 1,5 m<sup>2</sup> como mínimo. Las esclusas neumáticas no se utilizarán para otros fines, por ejemplo, como pañoles de pertrechos.

5.12.5 Se instalará un sistema de alarma sonora y visual para advertir, a ambos lados de la esclusa neumática, si está abierta más de una puerta.

5.12.6 En los espacios no potencialmente peligrosos con acceso desde espacios potencialmente peligrosos situados bajo cubierta en los que el acceso esté protegido por una esclusa neumática, al producirse una pérdida de subpresión en el espacio potencialmente peligroso se restringirá el acceso al espacio hasta que se reanude la ventilación. Se activarán alarmas sonoras y visuales en un puesto con dotación permanente para indicar tanto la pérdida de presión como la apertura de las puertas de la esclusa neumática cuando se pierda presión.

5.12.7 No se interrumpirá el suministro eléctrico al equipo esencial requerido a efectos de seguridad, que deberá ser de un tipo certificado como seguro. Dicho equipo puede incluir los sistemas de alumbrado, detección de incendios, altavoces y alarma general.

## 6 SISTEMA DE CONTENCIÓN DE COMBUSTIBLE

### 6.1 Objetivo

El objetivo de este capítulo es garantizar que el almacenamiento de gas sea adecuado a fin de reducir al mínimo los riesgos para el personal, el buque y el medio ambiente a un nivel que sea equivalente al de los buques tradicionales que consumen combustibles líquidos.

### 6.2 Prescripciones funcionales

Este capítulo está relacionado con las prescripciones funcionales 3.2.1, 3.2.2, 3.2.5 y 3.2.8 a 3.2.17. En particular, se dispone que:

- .1 el sistema de contención de combustible estará proyectado de manera que las fugas del tanque o de sus conexiones no pondrán en peligro al buque, las personas a bordo ni al medio ambiente. Entre los peligros que se deben evitar figuran:
  - .1 la exposición de los materiales del buque a temperaturas inferiores a los límites aceptables;
  - .2 la propagación de combustibles inflamables a lugares en los que haya fuentes de ignición;
  - .3 la toxicidad potencial y el riesgo de falta de oxígeno debido a los combustibles y gases inertes;
  - .4 las restricciones de acceso a los puestos de reunión, las vías de evacuación y los dispositivos de salvamento; y
  - .5 la reducción de la disponibilidad de los dispositivos de salvamento.
- .2 la presión y temperatura en el tanque de combustible se mantendrán dentro de los límites de proyecto del sistema de contención y de las posibles prescripciones para el transporte de combustible;
- .3 el sistema de contención de combustible estará proyectado de tal manera que las medidas de seguridad adoptadas en caso de fuga de gas no conlleven una pérdida de potencia inadmisibles; y

- .4 si se utilizan tanques portátiles para el almacenamiento de combustible, el proyecto del sistema de contención de combustible será equivalente al de los tanques instalados de forma permanente, como se indica en este capítulo.

## 6.3 Reglas – Generalidades

6.3.1 El gas natural en estado líquido se podrá almacenar con un tarado máximo admisible de la válvula aliviadora de presión (MARVS) de hasta 1,0 MPa.

6.3.2 La presión de servicio máxima autorizada (PSMA) del tanque de combustible de gas no será superior al 90 % del tarado máximo admisible de la válvula aliviadora de presión (MARVS).

6.3.3 Los sistemas de contención de combustible situados bajo cubierta serán estancos al gas por lo que respecta a los espacios adyacentes.

6.3.4 Todas las conexiones, accesorios, bridas y válvulas de los tanques deben estar encerradas en espacios de conexiones de los tanques que sean estancos al gas, a menos que las conexiones se encuentren en una cubierta expuesta. El espacio deberá poder contener en condiciones de seguridad las fugas del tanque que puedan producirse en las conexiones.

6.3.5 Las conexiones entre las tuberías y el tanque de almacenamiento de combustible irán montadas por encima del nivel más alto de líquido en el tanque, con excepción de los tanques de almacenamiento de tipo C. Sin embargo, podrán aceptarse también las conexiones situadas por debajo del nivel más alto de líquido en el caso de otros tipos de tanque después de un examen especial por parte de la Administración.

6.3.6 Las tuberías situadas entre el tanque y la primera válvula que descarguen líquido en caso de fallo de una tubería tendrán un grado de seguridad equivalente al de los tanques de tipo C, con un esfuerzo dinámico que no supere los valores indicados en 6.4.15.3.1.2.

6.3.7 El material de los mamparos del espacio de las conexiones de los tanques tendrá una temperatura de proyecto que se corresponda con la temperatura más baja a la que pueda verse sometido en un supuesto de fuga máxima probable. El espacio de las conexiones de los tanques se proyectará de manera que resista la presión máxima que pueda acumularse durante esa fuga. Alternativamente, se podrá suministrar respiración de alivio de presión con descarga a un lugar seguro (mástil).

6.3.8 La fuga máxima probable al espacio de las conexiones de los tanques se determinará con arreglo a un proyecto detallado y a los sistemas de detección y desactivación.

6.3.9 Si hay tuberías conectadas por debajo del nivel de líquido del tanque, tendrán que estar protegidas con una barrera secundaria que llegue hasta la primera válvula.

6.3.10 Si los tanques de almacenamiento de combustible de gas licuado están situados en una cubierta expuesta, la estructura de acero del buque se protegerá de posibles fugas procedentes de las conexiones de los tanques y de otras fuentes de fugas instalando bandejas de goteo. El material tendrá una temperatura de proyecto correspondiente a la temperatura del combustible transportado a la presión atmosférica. Se tendrá en cuenta la presión de funcionamiento normal de los tanques para proteger la estructura de acero del buque.

6.3.11 Se dispondrán medios para vaciar el gas licuado de los tanques de almacenamiento en condiciones de seguridad.

6.3.12 Será posible vaciar, purgar y ventilar los tanques de almacenamiento de combustible con los sistemas de tuberías de combustible. Se debe disponer a bordo de las instrucciones necesarias para poner en práctica estos procedimientos. La inertización se efectuará con un gas inerte antes de proceder a la respiración con aire seco a fin de evitar la formación de una atmósfera con peligro potencial de explosión en tanques y tuberías de combustible. Véanse las reglas en detalle en 6.10.

## **6.4 Reglas aplicables a la contención de combustible de gas licuado**

### **6.4.1 Generalidades**

6.4.1.1 La evaluación de riesgos prescrita en 4.2 incluirá la evaluación del sistema de contención de combustible de gas licuado del buque y podrá dar como resultado medidas de seguridad adicionales que se integrarán en el proyecto general del buque.

6.4.1.2 La vida útil de proyecto del sistema fijo de contención de combustible de gas licuado será, como mínimo, igual a la vida útil de proyecto del buque o a 20 años, si este periodo es mayor.

6.4.1.3 La vida útil de proyecto de los tanques portátiles será de 20 años como mínimo.

6.4.1.4 Los sistemas de contención de combustible de gas licuado se proyectarán para adecuarse a las condiciones ambientales imperantes en el Atlántico norte y a los diagramas pertinentes de dispersión del estado de la mar a largo plazo para la navegación sin restricciones. La Administración podrá aceptar condiciones ambientales menos severas, con arreglo al uso previsto, en el caso de los sistemas de contención de combustible de gas licuado que se utilicen exclusivamente para la navegación restringida. Se podrá exigir la adecuación a condiciones ambientales más severas en el caso de los sistemas de contención de combustible de gas licuado que se utilicen en condiciones ambientales más extremas que las del Atlántico norte.

6.4.1.5 Los sistemas de contención de combustible de gas licuado se proyectarán con márgenes de seguridad adecuados:

- .1 para resistir, en condición sin avería, las condiciones ambientales previstas durante la vida útil de proyecto del sistema de contención de combustible de gas licuado y las condiciones de carga adecuadas para ellas, que incluirán condiciones de carga homogénea completa y parcial y llenados parciales hasta cualesquiera niveles intermedios; y
- .2 para las incertidumbres relativas a las cargas, los modelos estructurales, la fatiga, la corrosión, los efectos térmicos, la variabilidad de los materiales, el envejecimiento y las tolerancias de construcción.

6.4.1.6 La resistencia estructural del sistema de contención de combustible de gas licuado se evaluará con arreglo a las modalidades de fallo, que incluirán, entre otras, la deformación plástica, el pandeo y la fatiga. Las condiciones específicas de proyecto que se tendrán en cuenta para proyectar cada sistema de contención de combustible de gas licuado se indican en 6.4.15. Existen tres categorías principales de condiciones de proyecto:

- .1 Condiciones de proyecto sobre resistencia a la rotura - La estructura del sistema de contención de combustible de gas licuado y sus componentes estructurales resistirán las cargas a las que puedan verse expuestos en el curso de su construcción, pruebas y uso previsto durante el servicio del buque sin que haya pérdidas de la integridad estructural. En el proyecto se tendrán en cuenta combinaciones adecuadas de las siguientes cargas:
  - .1 presión interna;
  - .2 presión externa;
  - .3 cargas dinámicas como consecuencia del movimiento del buque en todas las condiciones de carga;
  - .4 cargas térmicas;
  - .5 cargas debidas al chapoteo del buque;
  - .6 cargas correspondientes a las flexiones del buque;
  - .7 peso del tanque y del combustible de gas licuado con la correspondiente reacción en la zona de los soportes;
  - .8 peso del aislamiento;
  - .9 cargas en la zona de las torres y otras fijaciones; y
  - .10 cargas de prueba.
- .2 Condiciones de proyecto sobre fatiga: la estructura del sistema de contención de combustible de gas licuado y sus componentes estructurales no fallarán como consecuencia de la acumulación de cargas cíclicas.
- .3 Condiciones de proyecto sobre accidentes: el sistema de contención de combustible de gas licuado cumplirá cada una de las siguientes condiciones de proyecto sobre accidentes (sucesos accidentales o anormales) que se contemplan en este código:
  - .1 Abordaje: el sistema de contención de combustible de gas licuado resistirá las cargas por abordaje especificadas en 6.4.9.5.1 sin que se produzcan deformaciones de los apoyos, o de la estructura del tanque en la zona de los apoyos que puedan poner en peligro el tanque y su estructura de apoyo.
  - .2 Incendio: el sistema de contención de combustible de gas licuado resistirá, sin que se produzca rotura, el aumento de la presión interna especificado en 6.7.3.1 en los supuestos de incendio previstos en dicha sección.
  - .3 Compartimiento inundado que ocasione flotabilidad del tanque: los dispositivos para evitar la flotación resistirán el empuje ascendente que se especifica en 6.4.9.5.2, y no deberá haber peligro de deformación plástica del casco. Podrá haber deformación plástica en el sistema de contención de combustible siempre y cuando no ponga en riesgo la evacuación del buque en condiciones de seguridad.

6.4.1.7 Se adoptarán medidas a fin de garantizar que los escantillones requeridos cumplan las disposiciones relativas a la resistencia estructural y se mantengan durante toda la vida útil de proyecto. Tales medidas pueden incluir, entre otras cosas, la selección de materiales, los revestimientos, las compensaciones por corrosión, la protección catódica y la inertización.

6.4.1.8 La Administración elaborará y aprobará un plan de inspección o reconocimiento del sistema de contención de combustible de gas licuado. Mediante dicho plan se determinarán los aspectos que se examinarán y/o validarán en los reconocimientos que se lleven a cabo durante la vida útil del sistema de contención de combustible de gas licuado y, en particular, todos los reconocimientos, actividades de mantenimiento y pruebas que deban realizarse durante el servicio y que se hayan previsto a la hora de seleccionar los parámetros de proyecto del sistema de contención de combustible de gas licuado. El plan de inspección o reconocimiento podrá incluir lugares críticos específicos, como se estipula en 6.4.12.2.8 o 6.4.12.2.9.

6.4.1.9 Los sistemas de contención de combustible de gas licuado se proyectarán, construirán y equiparán para proporcionar medios adecuados de acceso a las zonas que deban inspeccionarse según se indique en el plan de inspección o reconocimiento. Los sistemas de contención de combustible de gas licuado, incluido todo el equipo interno correspondiente, se proyectarán y construirán para garantizar la seguridad durante las operaciones, la inspección y el mantenimiento.

#### **6.4.2 Principios de seguridad relativos a la contención de combustible de gas licuado**

6.4.2.1 Los sistemas de contención estarán provistos de una barrera secundaria completa, estanca a los líquidos, capaz de contener de manera segura todas las posibles fugas que se produzcan a través de la barrera primaria y, junto con el sistema de aislamiento térmico, de evitar que la temperatura de la estructura del buque baje a un nivel peligroso.

6.4.2.2 Se podrán reducir el tamaño y la configuración o la disposición de la barrera secundaria, o incluso podrá prescindirse de ésta, si se puede demostrar que existe un nivel de seguridad equivalente de conformidad con lo dispuesto en 6.4.2.3 a 6.4.2.5, según corresponda.

6.4.2.3 Los sistemas de contención de combustible de gas licuado para los que se haya determinado una probabilidad extremadamente baja de que los fallos estructurales conduzcan a un estado crítico, pero no pueda excluirse la posibilidad de que se registren fugas a través de la barrera primaria, se dotarán de una barrera secundaria parcial y de un sistema de protección contra las fugas menores que permita tratar y eliminar de manera segura dichas fugas (por "estado crítico" se entiende que la fisura conduce a una condición inestable).

Las medidas cumplirán lo siguiente:

- .1 las propagaciones de fallos que puedan detectarse de forma fiable antes de que alcancen un estado crítico (por ejemplo, mediante la detección de gas o una inspección) tendrán un periodo de evolución lo suficientemente largo para que puedan adoptarse medidas correctivas; y
- .2 las propagaciones de fallos que no puedan detectarse de forma segura antes de que alcancen un estado crítico tendrán un periodo de evolución previsto mucho más largo que el periodo de vida útil previsto del tanque.

6.4.2.4 No será necesaria una barrera secundaria para los sistemas de contención de combustible de gas licuado, como los tanques independientes de tipo C, si la probabilidad de que se produzcan fallos estructurales y fugas a través de la barrera primaria es extremadamente baja y puede despreciarse.

6.4.2.5 Para los tanques independientes que requieran una barrera secundaria total o parcial, se dispondrán medios para eliminar las fugas de los tanques en condiciones de seguridad.

#### 6.4.3 Barreras secundarias en relación con los tipos de tanque

Se proveerán barreras secundarias en relación con los tipos de tanque definidos en 6.4.15 de conformidad con lo estipulado en el cuadro siguiente:

| Tipo de tanque básico                        | Prescripciones de barrera secundaria   |
|--|--|
| Membrana                                     | Barrera secundaria completa  |
| Independiente:<br>Tipo A<br>Tipo B<br>Tipo C | Barrera secundaria completa<br>Barrera secundaria parcial<br>No se necesita barrera secundaria |

#### 6.4.4 Proyecto de las barreras secundarias

El proyecto de las barreras secundarias, incluida la pantalla antirrociadura si está instalada, se efectuará de manera que:

- .1 permita contener toda fuga prevista de combustible de gas licuado durante un periodo de 15 días, a menos que se apliquen criterios diferentes para viajes concretos, teniendo en cuenta el espectro de cargas al que se hace referencia en 6.4.12.2.6;
- .2 las circunstancias físicas, mecánicas u operacionales existentes dentro del tanque de combustible de gas licuado que pueden causar el fallo de la barrera principal no impidan el correcto funcionamiento de la barrera secundaria, o viceversa;
- .3 la avería de un soporte o de una fijación a la estructura del casco no se traduzca en una pérdida de estanquidad a los líquidos de las barreras primaria y secundaria;
- .4 permita efectuar una revisión periódica para verificar su eficacia mediante una inspección visual u otros medios adecuados admitidos por la Administración; y
- .5 los métodos prescritos en 6.4.4.4 sean aprobados por la Administración e incluyan, como mínimo:
  - .1 los pormenores sobre el tamaño del defecto aceptable y su ubicación dentro de la barrera secundaria, antes de que se vea comprometida su estanquidad a los líquidos;
  - .2 la precisión y el espectro de valores del método propuesto para la detección de los defectos indicados en .1 *supra*;

- .3 los factores de escala que se utilizarán para determinar los criterios de aceptación si no se llevan a cabo pruebas con modelos a tamaño natural; y
- .4 los efectos que tienen las cargas cíclicas, tanto térmicas como mecánicas, en la eficacia de la prueba propuesta,
- .6 la barrera secundaria cumplirá sus prescripciones funcionales a un ángulo estático de escora de 30°.

#### **6.4.5 Barreras secundarias parciales y sistema de protección de fugas menores en la barrera primaria**

6.4.5.1 Las barreras secundarias parciales permitidas según lo prescrito en 6.4.2.3 se utilizarán con un sistema de protección de fugas menores y cumplirán todas las prescripciones estipuladas en 6.4.4.

El sistema de protección de fugas menores incluirá medios para detectar fugas en la barrera primaria, una pantalla antirrociadura que dirija el combustible de gas licuado hacia abajo, hacia la barrera secundaria parcial, y medios para eliminar el líquido, que pueden incluir la evaporación natural.

6.4.5.2 La capacidad de la barrera secundaria parcial se determinará sobre la base de las fugas de combustible de gas licuado correspondientes a la extensión del fallo resultante del espectro de cargas mencionado en 6.4.12.2.6, tras la detección inicial de una fuga primaria. Se podrán tomar debidamente en cuenta la evaporación de líquidos, el caudal de fuga, la capacidad de bombeo y otros factores pertinentes.

6.4.5.3 La detección de fugas de líquidos prescrita podrá lograrse con sensores de líquidos o mediante un empleo eficaz de los sistemas de detección de presión, temperatura o gas, o cualquier combinación de los mismos.

6.4.5.4 En el caso de tanques independientes sin puntos obvios para la recogida de fugas, la barrera secundaria parcial también cumplirá las prescripciones funcionales correspondientes a un ángulo estático nominal de asiento.

#### **6.4.6 Medios de soporte**

6.4.6.1 Los tanques de combustible de gas licuado estarán sustentados por el casco de una manera que impida el movimiento del tanque como consecuencia de las cargas estáticas y dinámicas definidas en 6.4.9.2 a 6.4.9.5, cuando proceda, pero que permita la contracción y la expansión del tanque por las variaciones de temperatura y las flexiones del casco sin que se produzcan esfuerzos excesivos en el tanque y el casco.

6.4.6.2 Se proporcionarán dispositivos que eviten la flotación de los tanques independientes y que permitan resistir las cargas definidas en 6.4.9.5.2 sin deformaciones plásticas que puedan poner en peligro la estructura del casco.

6.4.6.3 Los soportes y los dispositivos de apoyo resistirán las cargas definidas en 6.4.9.3.3.8 y 6.4.9.5, pero no es necesario combinar estas cargas entre sí ni con las cargas producidas por las olas.

## **6.4.7 Estructura y equipo conexos**

6.4.7.1 Los sistemas de contención de combustible de gas licuado se proyectarán para las cargas impuestas por la estructura y el equipo conexos. Se incluyen aquí torres de bombeo, bóvedas de combustible de gas licuado, bombas y tuberías de combustible de gas licuado, bombas y tuberías de agotamiento, tuberías de nitrógeno, escotillas de acceso, escalas, manguitos de paso para tuberías, indicadores de nivel de líquido, indicadores independientes de alarmas de nivel, boquillas aspersoras y sistemas de instrumentación (como indicadores de presión, temperatura y tensión).

## **6.4.8 Aislamiento térmico**

6.4.8.1 Se dispondrá el aislamiento térmico prescrito para proteger el casco de temperaturas inferiores a las admisibles (véase el párrafo 6.4.13.1.1) y limitar el flujo de calor hacia el tanque a niveles que puedan mantenerse con el sistema de control de presión y de temperatura especificado en 6.9.

## **6.4.9 Cargas de proyecto**

### 6.4.9.1 Generalidades

6.4.9.1.1 En esta sección se definen las cargas de proyecto que se examinarán en relación con las reglas 6.4.10 a 6.4.12. Esto incluye las categorías de carga (permanente, funcional, ambiental y accidental) y la descripción de las cargas.

6.4.9.1.2 La medida en que se examinarán estas cargas depende del tipo de tanque. Este particular se trata más a fondo en los párrafos siguientes.

6.4.9.1.3 Los tanques, junto con su estructura de soporte y demás accesorios, se proyectarán teniendo en cuenta las combinaciones pertinentes de las cargas que se describen a continuación.

### 6.4.9.2 Cargas permanentes

#### *6.4.9.2.1 Cargas de gravedad*

Se deberán tener en cuenta el peso del tanque, el aislamiento térmico, las cargas causadas por las torres y otras fijaciones.

#### *6.4.9.2.2 Cargas externas permanentes*

Se deberán tener en cuenta las cargas de gravedad de las estructuras y equipos que actúan externamente sobre el tanque.

### 6.4.9.3 Cargas funcionales

6.4.9.3.1 Las cargas derivadas del uso operacional del sistema de tanques se clasificarán como cargas funcionales.

6.4.9.3.2 Se deberán tener en cuenta todas las cargas funcionales que sean esenciales para garantizar la integridad del sistema de tanques, durante todas las condiciones de proyecto.

6.4.9.3.3 Cuando se establezcan las cargas funcionales, se tendrán en cuenta, como mínimo, los efectos de los siguientes factores:

- a) la presión interna;
- b) la presión externa;
- c) las cargas inducidas térmicamente;
- d) las vibraciones;
- e) las cargas de interacción;
- f) las cargas relacionadas con la construcción y la instalación;
- g) las cargas de prueba;
- h) las cargas de escora estática;
- i) el peso del combustible de gas licuado;
- j) el chapoteo del buque;
- k) el efecto del viento, de las olas y de los cáncamos de mar en los tanques instalados en las cubiertas expuestas;

#### 6.4.9.3.3.1 Presión interna

- .1 En todos los casos, incluidos los previstos en 6.4.9.3.3.1.2,  $P_o$  no será inferior al MARVS.
- .2 En los tanques de combustible de gas licuado que no disponen de control de temperatura y en los que la presión del combustible de gas licuado solamente depende de la temperatura ambiente,  $P_o$  no será inferior a la presión de vapor manométrica del combustible de gas licuado a una temperatura de 45 °C salvo en los casos siguientes:
  - .1 La Administración podrá aceptar valores inferiores de la temperatura ambiente cuando se trate de buques que naveguen en zonas restringidas. Por otra parte, también se podrán prescribir valores de la temperatura ambiente más elevados.
  - .2 Para los buques que efectúen viajes de duración limitada, el cálculo de  $P_o$  podrá realizarse en función del aumento de la presión real durante el viaje y se podrá tener en cuenta el aislamiento térmico del tanque.
- .3 A reserva de las condiciones especiales que pueda establecer la Administración y las limitaciones indicadas en 6.4.15 respecto de los diversos tipos de tanque, se podrá aceptar una presión de vapor ( $P_h$ ) superior a  $P_o$  para condiciones específicas del lugar (puerto u otros emplazamientos) cuando las cargas dinámicas sean menores.

- .4 La presión interna se determinará con arreglo a lo siguiente:
- .1  $(P_{gd})_{máx}$  es la presión del líquido que se determina utilizando las aceleraciones máximas de proyecto.
  - .2  $(P_{gd \text{ site}})_{máx}$  es la presión del líquido que se determina utilizando las aceleraciones específicas del lugar.
  - .3  $P_{eq}$  debería ser superior a  $P_{eq1}$  y  $P_{eq2}$ , calculadas de la siguiente manera:

$$P_{eq1} = P_o + (P_{gd})_{máx} \text{ (MPa),}$$

$$P_{eq2} = P_h + (P_{gd \text{ site}})_{máx} \text{ (MPa)}$$

- .5 Las presiones internas del líquido son las presiones originadas por la aceleración resultante del centro de gravedad del combustible de gas licuado como consecuencia de los movimientos del buque mencionados en 6.4.9.4.1.1. El valor de la presión interna del líquido  $P_{gd}$  resultante de los efectos combinados de la gravedad y las aceleraciones dinámicas se calculará aplicando la siguiente fórmula:

$$P_{gd} = \alpha_\beta Z_\beta (\rho / (1,02 \times 10^5)) \text{ (MPa),}$$

donde:

$\alpha_\beta$  = aceleración adimensional (es decir, relativa a la aceleración de la gravedad) resultante de las cargas dinámicas y gravitatorias, en una dirección arbitraria  $\beta$  (véase la figura 6.4.1).

Para los tanques de grandes dimensiones debería utilizarse un elipsoide de aceleración teniendo en cuenta las aceleraciones transversales, verticales y longitudinales.

$Z_\beta$  = la mayor altura del líquido (m) por encima del punto en el que se ha de determinar la presión, medida desde el forro del tanque en la dirección  $\beta$  (véase la figura 6.4.2).

A la hora de determinar  $Z_\beta$  se tendrán en cuenta las bóvedas de los tanques que se consideran parte del volumen total aceptado del tanque a menos que el volumen total de las bóvedas de los tanques ( $V_d$ ) no supere el valor siguiente:

$$V_d = V_t \left( \frac{100 - FL}{FL} \right)$$

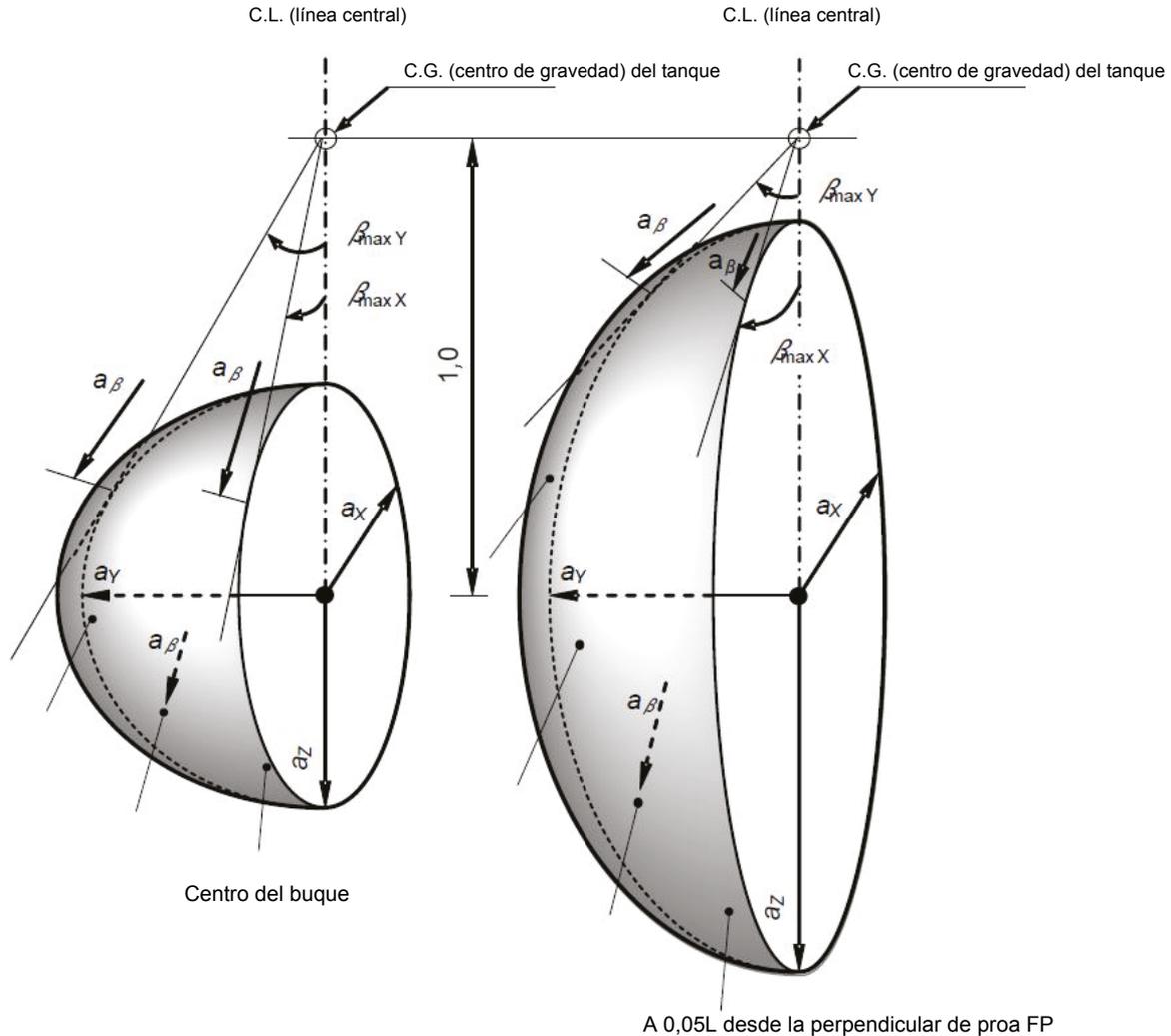
donde:

$V_t$  = volumen del tanque sin contar las bóvedas; y

$FL$  = límite de llenado de conformidad con lo dispuesto en 6.8.

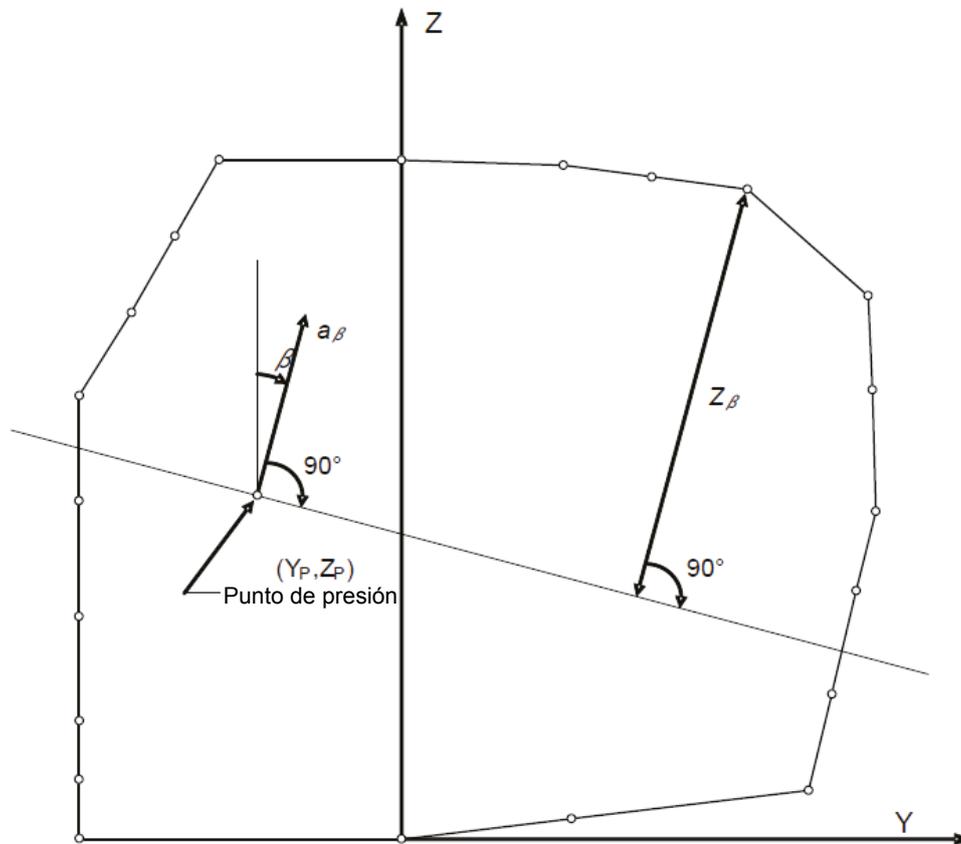
$\rho$  = densidad máxima del combustible de gas licuado ( $\text{kg/m}^3$ ) a la temperatura de proyecto.

Se tendrá en cuenta la dirección que da el valor máximo  $(P_{gd})_{\text{máx}}$  o  $(P_{gd \text{ site}})_{\text{máx}}$ . Cuando es necesario tener en cuenta los componentes de la aceleración en tres direcciones, se utilizará un elipsoide en lugar de la elipse de la figura 6.4.1 La fórmula precedente se aplica sólo a los tanques llenos.



- $a_\beta$  = aceleración resultante (estática y dinámica) en la dirección arbitraria  $\beta$
- $a_x$  = componente longitudinal de la aceleración
- $a_y$  = componente transversal de la aceleración
- $a_z$  = componente vertical de la aceleración (véase 6.4.9.4.1.1)

**Figura 6.4.1: Elipsoide de la aceleración**



**Figura 6.4.2: Determinación de las cargas de la presión interna**

#### 6.4.9.3.3.2 Presión externa

Las cargas de la presión externa de proyecto se basarán en la diferencia entre la presión interna mínima y la presión externa máxima a la cual puede verse sometida de forma simultánea cualquier parte del tanque.

#### 6.4.9.3.3.3 Cargas inducidas térmicamente

6.4.9.3.3.3.1 Se tendrán en cuenta las cargas inducidas térmicamente de carácter transitorio durante los periodos de enfriamiento con respecto a los tanques concebidos para soportar temperaturas de combustible de gas licuado inferiores a  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

6.4.9.3.3.3.2 Se tendrán en cuenta las cargas inducidas térmicamente de carácter estacionario con respecto a los sistemas de contención de combustible de gas licuado en los que los medios de apoyo o de fijación de proyecto y la temperatura de funcionamiento puedan dar lugar a esfuerzos térmicos considerables (véase el párrafo 6.9.2).

#### 6.4.9.3.3.4 Vibraciones

Se tendrán en cuenta los efectos potencialmente dañinos que tienen las vibraciones en el sistema de contención de combustible de gas licuado.

#### 6.4.9.3.3.5 Cargas de interacción

Se tendrá en cuenta el componente estático de las cargas debidas a la interacción entre el sistema de contención de combustible de gas licuado y la estructura del casco, así como las cargas de la estructura y el equipo correspondientes.

#### 6.4.9.3.3.6 Cargas relacionadas con la construcción y la instalación

Se tendrán en cuenta las cargas o condiciones relacionadas con la construcción y la instalación, por ejemplo, las operaciones de izada.

#### 6.4.9.3.3.7 Cargas de prueba

Se tendrán en cuenta las cargas correspondientes a las pruebas del sistema de contención de combustible de gas licuado a las que se hace referencia en 16.5.

#### 6.4.9.3.3.8 Cargas de escora estática

Se tendrán en cuenta las cargas correspondientes al ángulo de escora estática más desfavorable dentro del arco de 0° a 30°.

#### 6.4.9.3.3.9 Otras cargas

Se tendrán en cuenta otras cargas que no se hayan abordado de manera específica y que pudieran afectar al sistema de contención de combustible de gas licuado.

#### 6.4.9.4 Cargas ambientales

6.4.9.4.1 Las cargas ambientales se definen como aquellas cargas en el sistema de contención de combustible de gas licuado que son originadas por el entorno circundante y que no se han clasificado como cargas permanentes, funcionales o accidentales.

##### 6.4.9.4.1.1 Cargas debidas al movimiento del buque

Al determinar las cargas dinámicas se tendrá en cuenta la distribución a largo plazo del movimiento del buque en mares irregulares, situación que el buque experimentará durante su vida útil de servicio. También podrá tenerse en cuenta la reducción de las cargas dinámicas como resultado de las reducciones de velocidad y las variaciones del rumbo necesarias. El movimiento del buque incluirá las oscilaciones longitudinales, transversales y verticales, el balance, el cabeceo y la guiñada. Las aceleraciones que tengan un efecto en los tanques se calcularán en su centro de gravedad e incluirán los siguientes componentes:

- .1 aceleración vertical: aceleraciones de la oscilación vertical, el cabeceo y, posiblemente, el balance (perpendicular a la base del buque);
- .2 aceleración transversal: aceleraciones de la oscilación transversal, la guiñada y el balance, así como del componente gravitacional del balance; y
- .3 aceleración longitudinal: aceleraciones de la oscilación longitudinal y del cabeceo y del componente gravitacional del cabeceo.

La Administración propondrá y aprobará los métodos para prever las aceleraciones resultantes del movimiento del buque.

Se podrá conceder consideración especial a los buques de servicio restringido.

#### 6.4.9.4.1.2 Cargas dinámicas de interacción

Se tendrá en cuenta el componente dinámico de las cargas resultantes de la interacción entre los sistemas de contención de combustible de gas licuado y la estructura del casco, incluidas las cargas de las estructuras y el equipo conexos.

#### 6.4.9.4.1.3 Cargas debidas al chapoteo del líquido

Las cargas debidas al chapoteo del líquido de los sistemas de contención de combustible de gas licuado y los componentes internos se evaluarán para todo el espectro de niveles de llenado previstos.

#### 6.4.9.4.1.4 Cargas debidas a la nieve y el hielo

Se tendrán en cuenta la nieve y el hielo, si procede.

#### 6.4.9.4.1.5 Cargas debidas a la navegación entre hielos

Las cargas debidas a la navegación entre hielos se tendrán en cuenta para los buques destinados a dicho servicio.

#### 6.4.9.4.1.6 Cargas debidas a la acción de los cáncamos de mar

Se tendrán en cuenta las cargas generadas por el agua en cubierta.

#### 6.4.9.4.1.7 Cargas debidas al viento

Se tendrán en cuenta las cargas generadas por el viento, según proceda.

#### 6.4.9.5 Cargas accidentales

Las cargas accidentales se definen como las cargas que se imponen a los sistemas de contención de combustible de gas licuado y a sus medios de apoyo en condiciones anormales e imprevistas.

#### 6.4.9.5.1 Cargas por abordaje

Las cargas por abordaje se determinarán a partir del sistema de contención de combustible en condiciones de plena carga con una fuerza inercial correspondiente, de acuerdo con el cuadro que figura *infra*, a "a" hacia proa y a "a/2" hacia popa, donde "g" es la aceleración de la gravedad.

| Eslora del buque (L) | Aceleración de proyecto (a)              |
|----------------------|--|
| L > 100 m            | 0,5g                                     |
| 60 < L ≤ 100 m       | $\left(2 - \frac{3(L - 60)}{80}\right)g$ |
| L ≤ 60 m             | 2g                                       |

Los buques cuyo número de Froude (Fn) > 0,4 deberían ser objeto de consideración especial.

#### 6.4.9.5.2 *Cargas debidas a la inundación del buque*

Cuando se trate de tanques independientes, a la hora de proyectar los calzos para evitar la flotación y la estructura de sustentación en el casco adyacente y en la estructura del tanque, se tendrán en cuenta las cargas causadas por la flotabilidad de un tanque vacío totalmente sumergido.

### **6.4.10 *Integridad estructural***

#### 6.4.10.1 Generalidades

6.4.10.1.1 El proyecto estructural garantizará que los tanques tengan una capacidad adecuada para resistir todas las cargas pertinentes con un margen adecuado de seguridad. Así se tendrá en cuenta la posibilidad de que se produzca deformación plástica, pandeo, fatiga y pérdida de estanquidad a los líquidos y al gas.

6.4.10.1.2 La integridad estructural de los sistemas de contención de combustible de gas licuado se puede demostrar mediante el cumplimiento de lo prescrito en 6.4.15, según corresponda para el tipo de sistema de contención de combustible de gas licuado de que se trate.

6.4.10.1.3 En el caso de otros tipos de sistema de contención de combustible de gas licuado de carácter innovador o que difieran considerablemente de los tipos cubiertos por 6.4.15, la integridad estructural se demostrará mediante el cumplimiento de lo dispuesto en el párrafo 6.4.16.

### **6.4.11 *Análisis estructural***

#### 6.4.11.1 Análisis

6.4.11.1.1 Los análisis de proyecto se basarán en los principios aceptados de la estática, la dinámica y la resistencia de los materiales.

6.4.11.1.2 Se podrán utilizar métodos o análisis simplificados para calcular los efectos de la carga, siempre que sean conservadores. Podrán emplearse pruebas con modelos en combinación con cálculos teóricos, o en lugar de éstos. En aquellos casos en que los métodos teóricos sean inadecuados, se podrán utilizar pruebas con modelos o pruebas a tamaño natural.

6.4.11.1.3 Al determinar las respuestas a las cargas dinámicas se tendrá en cuenta el efecto dinámico cuando pueda afectar a la integridad estructural.

#### 6.4.11.2 Supuestos de carga

6.4.11.2.1 Para cada emplazamiento o parte del sistema de contención de combustible de gas licuado que deba ser objeto de examen y para cada posible modo de fallo que deba analizarse, se tendrán en cuenta todas las combinaciones pertinentes de cargas que puedan actuar simultáneamente.

6.4.11.2.2 Se tendrán en cuenta los supuestos más desfavorables para todas las fases pertinentes de construcción, manipulación, pruebas y condiciones de servicio.

6.4.11.2.3 Cuando se calculan por separado los esfuerzos estáticos y dinámicos, y salvo que se justifique la utilización de otros métodos de cálculo, los esfuerzos totales se calcularán de conformidad con lo siguiente:

$$\sigma_x = \sigma_{x.st} \pm \sqrt{\sum (\sigma_{x.dyn})^2}$$

$$\sigma_y = \sigma_{y.st} \pm \sqrt{\sum (\sigma_{y.dyn})^2}$$

$$\sigma_z = \sigma_{z.st} \pm \sqrt{\sum (\sigma_{z.dyn})^2}$$

$$\tau_{xy} = \tau_{xy.st} \pm \sqrt{\sum (\tau_{xy.dyn})^2}$$

$$\tau_{xz} = \tau_{xz.st} \pm \sqrt{\sum (\tau_{xz.dyn})^2}$$

$$\tau_{yz} = \tau_{yz.st} \pm \sqrt{\sum (\tau_{yz.dyn})^2}$$

donde:

$\sigma_{x.st}$ ,  $\sigma_{y.st}$ ,  $\sigma_{z.st}$ ,  $\tau_{xy.st}$ ,  $\tau_{xz.st}$  y  $\tau_{yz.st}$  son esfuerzos estáticos; y  
 $\sigma_{x.dyn}$ ,  $\sigma_{y.dyn}$ ,  $\sigma_{z.dyn}$ ,  $\tau_{xy.dyn}$ ,  $\tau_{xz.dyn}$  y  $\tau_{yz.dyn}$  son esfuerzos dinámicos.

Cada uno se determinará por separado de los componentes de la aceleración y de los componentes de tensión del casco debido a la flexión y la torsión.

#### 6.4.12 Condiciones de proyecto

En el proyecto se tendrán en cuenta todas las modalidades de fallo pertinentes para todos los supuestos de carga y condiciones de proyecto oportunos. Estas últimas se indican en la primera parte de este capítulo, y los supuestos de carga se contemplan en 6.4.11.2.

##### 6.4.12.1 Condición de proyecto sobre resistencia a la rotura

6.4.12.1.1 La capacidad estructural se podrá determinar por medio de pruebas, o mediante análisis, teniendo en cuenta las propiedades elásticas y plásticas de los materiales, mediante un análisis elástico lineal simplificado o utilizando las disposiciones del presente código:

- .1 Se tendrán en cuenta la deformación plástica y el pandeo.
- .2 El análisis se basará en los valores característicos de la carga tal como se indica a continuación:
 

|                     |   |
|---------------------|---|
| Cargas permanentes: | Valores previstos   |
| Cargas funcionales: | Valores especificados   |
| Cargas ambientales: | Para las cargas debidas a las olas: la carga máxima más probable en $10^8$ olas incidentes. |
- .3 A los fines de la evaluación de la resistencia a la rotura, se aplicarán los siguientes parámetros sobre materiales:
  - .1  $R_e$  = límite elástico mínimo especificado a la temperatura ambiente ( $N/mm^2$ ). Si la curva de esfuerzos-deformaciones no muestra un límite elástico definido, se aplicará un límite de elasticidad del 0,2 %.

- .2  $R_m$  = resistencia mínima a la tracción especificada a temperatura ambiente (N/mm<sup>2</sup>).

En las uniones soldadas en las que son inevitables las soldaduras de menor resistencia que la chapa, es decir, aquellas soldaduras en las que el metal de aportación tiene una resistencia a la tracción inferior a la del metal de base, como en algunas aleaciones de aluminio, se utilizarán las  $R_e$  y  $R_m$  respectivas de las soldaduras tras la aplicación de cualquier termotratamiento. En tales casos, la resistencia a la tracción transversal de la soldadura no deberá ser inferior al límite de elasticidad real del metal de base. Si esto no es posible, las estructuras soldadas hechas de esos materiales no se incorporarán en los sistemas de contención de combustible de gas licuado.

Las propiedades señaladas *supra* se corresponderán con las propiedades mecánicas mínimas especificadas, incluido el metal de aportación en la condición de fábrica. A reserva de un examen especial por parte de la Administración, se podrán tener en cuenta la resistencia a la tracción y el límite elástico mejorados a baja temperatura.

- .4 El esfuerzo equivalente  $\sigma_c$  (von Mises, Huber) se determinará aplicando la siguiente fórmula:

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x\sigma_y - \sigma_x\sigma_z - \sigma_y\sigma_z + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)}$$

donde:

- $\sigma_x$  = esfuerzo normal total en la dirección x;
- $\sigma_y$  = esfuerzo normal total en la dirección y;
- $\sigma_z$  = esfuerzo normal total en la dirección z;
- $\tau_{xy}$  = esfuerzo cortante total en el plano x-y;
- $\tau_{xz}$  = esfuerzo cortante total en el plano x-z; y
- $\tau_{yz}$  = esfuerzo cortante total en el plano y-z.

Los valores mencionados se calcularán como se describe en 6.4.11.2.3.

- .5 Los esfuerzos admisibles para los materiales distintos de los contemplados en 7.4 estarán sujetos a la aprobación de la Administración en cada caso.
- .6 Los esfuerzos también podrán limitarse en función de los análisis de fatiga, los análisis de propagación de fisuras y los criterios de pandeo.

#### 6.4.12.2 Condición de proyecto sobre fatiga

- .1 La condición de proyecto sobre fatiga es la condición de proyecto respecto de la acumulación de las cargas cíclicas.

- .2 Si es necesario hacer un análisis de fatiga, el efecto acumulativo de la carga de fatiga cumplirá lo siguiente:

$$\sum \frac{n_i}{N_i} + \frac{n_{Loading}}{N_{Loading}} \leq C_w$$

donde:

$n_i$  = número de ciclos de esfuerzo en cada nivel de esfuerzo durante la vida útil del tanque;

$N_i$  = número de ciclos de fractura correspondiente al nivel de esfuerzo respectivo de conformidad con la curva de Wohler (S-N);

$n_{Loading}$  = número de ciclos de carga y descarga durante la vida útil del tanque, que no será inferior a 1 000. Los ciclos de carga y descarga incluyen un ciclo de presión y térmico completo;

$N_{Loading}$  = número de ciclos de fractura correspondiente a las cargas de fatiga debidas a las cargas y descargas; y

$C_w$  = coeficiente acumulativo de avería por fatiga máximo admisible.

La avería por fatiga se basará en la vida útil de proyecto del tanque, que no será inferior a  $10^8$  olas incidentes.

- .3 Cuando sea necesario, el sistema de contención de combustible de gas licuado será objeto de un análisis de fatiga teniendo en cuenta todas las cargas de fatiga y sus combinaciones adecuadas en relación con la vida útil prevista del sistema de contención de combustible de gas licuado. Se deberán tener en cuenta las diversas condiciones de llenado.

- .4 Las curvas S-N de proyecto utilizadas en el análisis se aplicarán a los materiales y las soldaduras, los detalles de construcción, los procedimientos de fabricación y el estado aplicable del esfuerzo previsto.

Las curvas S-N se basarán en una probabilidad de conservación de la flotabilidad del 97,6 %, correspondiente al valor promedio menos dos curvas de desviación típica de los datos experimentales pertinentes hasta el fallo final. El uso de las curvas S-N obtenidas de una manera diferente requiere el ajuste de los valores aceptables de  $C_w$  especificados en 6.4.12.2.7 a 6.4.12.2.9.

- .5 El análisis se basará en los valores de la carga característicos, tal como se indica a continuación:

|                     |  |
|---------------------|--|
| Cargas permanentes: | Valores previstos  |
| Cargas funcionales: | Valores especificados o historial especificado                   |
| Cargas ambientales: | Historial de la carga prevista, pero no inferior a $10^8$ ciclos |

Si se utilizan conjuntos de carga dinámica simplificados para calcular la resistencia a la fatiga, la Administración deberá examinarlos de manera especial.

- .6 Cuando se reduzca el tamaño de la barrera secundaria, tal como se dispone en 6.4.2.3, se realizarán análisis de mecánica de fracturas de la propagación de las fisuras por fatiga a fin de determinar:
  - .1 las vías de propagación de las fisuras en la estructura, cuando así se requiera en 6.4.12.2.7 a 6.4.12.2.9, según proceda;
  - .2 el ritmo de propagación de la fisura;
  - .3 el tiempo necesario para que la propagación de una fisura cause una fuga del tanque;
  - .4 el tamaño y la forma de las fisuras a través de todo el espesor; y
  - .5 el tiempo necesario para que las fisuras detectables alcancen un estado crítico tras la penetración en el espesor.

La mecánica de fracturas se basa, generalmente, en datos sobre la propagación de las fisuras considerados como un valor promedio más dos desviaciones típicas de los datos de las pruebas. Los métodos para el análisis de la propagación de las fisuras por fatiga y la mecánica de fracturas se basarán en normas reconocidas.

Al analizar la propagación de las fisuras, se supondrá que la mayor fisura inicial no es detectable con el método de inspección aplicado, teniendo en cuenta las pruebas no destructivas admisibles y el criterio de inspección visual, según proceda.

Análisis de propagación de las fisuras especificado en 6.4.12.2.7: se podrá utilizar la distribución y la secuencia de la carga simplificada durante un periodo de 15 días. Tales distribuciones pueden obtenerse del modo que se indica en la figura 6.4.3. La distribución y la secuencia de la carga durante periodos más largos, como se indica en 6.4.12.2.8 y 6.4.12.2.9, serán aprobadas por la Administración.

Las medidas cumplirán lo dispuesto en 6.4.12.2.7 a 6.4.12.2.9, según corresponda:

- .7 Respecto de los fallos que se pueden detectar de forma fiable por medio de la detección de fugas:

$C_w$  será inferior o igual a 0,5.

El tiempo restante previsto de propagación del fallo, desde el momento de detección de la fuga hasta que se alcance un estado crítico, no será inferior a 15 días, a menos que sean aplicables reglas diferentes para los buques que realicen viajes específicos.

- .8 Respecto de los fallos que no se pueden detectar por las fugas, pero que pueden detectarse de manera fiable durante las inspecciones en servicio:

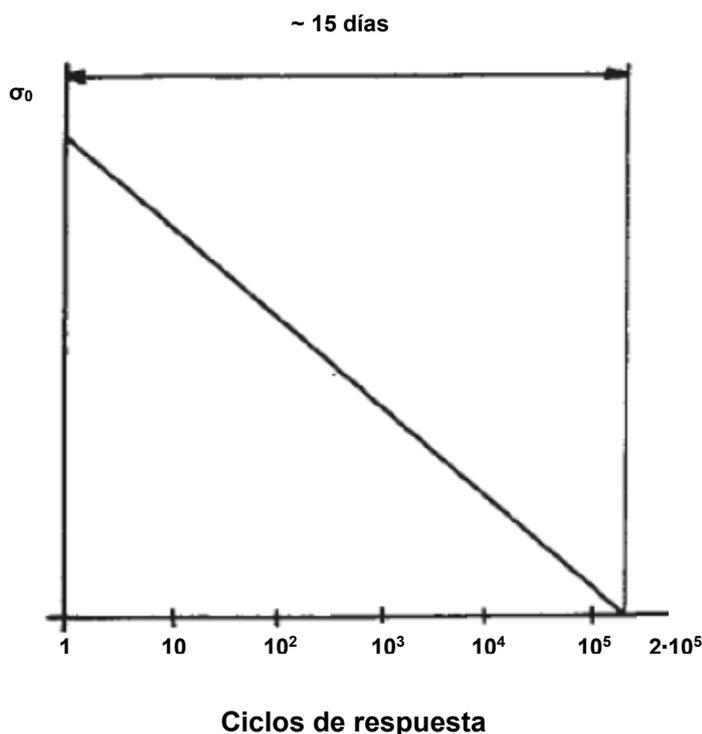
$C_w$  será inferior o igual a 0,5.

El tiempo restante previsto de propagación del fallo, desde la mayor fisura no detectable con métodos de inspección durante el servicio hasta que se alcance un estado crítico, no será inferior a tres (3) veces el intervalo de inspección.

- .9 En determinados lugares del tanque en los que no se puede garantizar la detección eficaz del defecto o de la propagación de la fisura, se deberán aplicar, como mínimo, los siguientes criterios, más estrictos, de reconocimiento de la fatiga:

$C_w$  será inferior o igual a 0,1.

El tiempo de propagación previsto del fallo, desde el defecto inicial supuesto hasta que se alcance un estado crítico, no será inferior a tres (3) veces la vida útil del tanque.



$\sigma_0$  = esfuerzo máximo más probable durante la vida útil del buque

La escala del ciclo de respuesta es logarítmica; el valor de  $2 \cdot 10^5$  se indica como ejemplo de cálculo.

**Figura 6.4.3: Distribución de la carga simplificada**

#### 6.4.12.3 Condición de proyecto sobre accidentes

6.4.12.3.1 La condición de proyecto sobre accidentes es una condición de proyecto relativa a las cargas accidentales con una probabilidad extremadamente baja.

6.4.12.3.2 El análisis se basará en los valores característicos siguientes:

|                      |   |
|----------------------|---|
| Cargas permanentes:  | Valores previstos                         |
| Cargas funcionales:  | Valores especificados                     |
| Cargas ambientales:  | Valores especificados                     |
| Cargas accidentales: | Valores especificados o valores previstos |

No es necesario combinar las cargas mencionadas en 6.4.9.3.3.8 y 6.4.9.5 entre sí ni con las cargas producidas por las olas.

### **6.4.13 Materiales y construcción**

#### 6.4.13.1 Materiales

##### 6.4.13.1.1 *Materiales que forman la estructura del buque*

6.4.13.1.1.1 A los efectos de determinar el grado de las planchas y de las secciones que se utilicen en la estructura del casco, se realizará un cálculo de la temperatura para todos los tipos de tanques. En dicho cálculo se partirá de los siguientes supuestos:

- .1 se supondrá que la barrera primaria de todos los tanques está a la temperatura del combustible de gas licuado;
- .2 además del supuesto descrito en el punto .1 *supra*, si se necesita una barrera secundaria completa o parcial, se supondrá que está a la temperatura del combustible de gas licuado a presión atmosférica para un tanque únicamente;
- .3 en lo referido al servicio a escala mundial, la temperatura ambiente que se establecerá será de 5 °C para el aire y de 0 °C para el agua de mar. Se podrán admitir valores más elevados para los buques que naveguen en zonas restringidas y, por el contrario, la Administración podrá imponer valores más bajos para los buques que presten servicio en zonas donde se prevean temperaturas más bajas durante los meses de invierno;
- .4 se supondrá que existen condiciones de aire y de agua de mar en reposo, es decir, no se realizarán ajustes por convección forzada;
- .5 se supondrá la degradación de las propiedades de aislamiento térmico durante la vida útil del buque como consecuencia de factores tales como el envejecimiento térmico y mecánico, la compactación, los movimientos del buque y las vibraciones de los tanques, tal como se define en 6.4.13.3.6 y 6.4.13.3.7;
- .6 cuando proceda, se tendrá en cuenta el efecto de enfriamiento de los gases de evaporación del combustible de gas licuado que haya escapado;
- .7 podrá tenerse en cuenta la calefacción del casco de conformidad con lo dispuesto en 6.4.13.1.1.3, siempre que los dispositivos para la calefacción estén en consonancia con lo establecido en 6.4.13.1.1.4;
- .8 no se concederá reducción por ningún medio de calefacción, salvo lo establecido en 6.4.13.1.1.3;

- .9 respecto de los elementos estructurales que interconectan el forro interior y el forro exterior del casco, se podrá tomar la temperatura media para determinar la calidad del acero.

6.4.13.1.1.2 Los materiales de todas las estructuras del casco para las cuales la temperatura calculada en la condición de proyecto es inferior a 0 °C debido a la influencia de la temperatura del combustible de gas licuado deberán ceñirse a lo establecido en el cuadro 7.5. Aquí se incluye la estructura del casco que sirve de apoyo para los tanques de combustible de gas licuado, las planchas del forro inferior, las planchas de los mamparos longitudinales, las planchas de los mamparos transversales, los suelos, las almas, los palmejares y todos los elementos de refuerzo fijados.

6.4.13.1.1.3 Podrán utilizarse medios de calefacción de los materiales estructurales para que la temperatura del material no descienda por debajo del mínimo permitido para el grado del material especificado en el cuadro 7.5. En los cálculos señalados en 6.4.13.1.1.1, puede tenerse en cuenta dicha calefacción con arreglo a los siguientes principios:

- .1 para cualquier estructura transversal del casco;
- .2 para la estructura longitudinal del casco mencionada en 6.4.13.1.1.2, cuando se especifiquen temperaturas ambiente inferiores, a condición de que los materiales sigan siendo apropiados para las condiciones de temperatura ambiente de 5 °C para el aire y 0 °C para el agua de mar sin que se tenga en cuenta en los cálculos la calefacción; y
- .3 como alternativa a lo dispuesto en 6.4.13.1.1.3.2, para el mamparo longitudinal entre los tanques de combustible de gas licuado, podrá tenerse en cuenta la calefacción, siempre y cuando el material siga siendo apropiado para una temperatura de proyecto mínima de -30 °C, o una temperatura inferior en 30 °C a la indicada en 6.4.13.1.1.1, si este valor es menor, teniendo en cuenta la calefacción. En este caso, la resistencia longitudinal del buque cumplirá lo dispuesto en la regla II-1/3-1 del Convenio SOLAS, tanto cuando dichos mamparos se consideren efectivos como cuando no se consideren efectivos.

6.4.13.1.1.4 Los medios de calefacción mencionados en 6.4.13.1.1.3 cumplirán lo siguiente:

- .1 el sistema de calefacción se dispondrá de modo tal que, en caso de fallo en cualquier parte del sistema, se pueda mantener una calefacción de reserva igual, como mínimo, al 100 % de la necesidad térmica teórica prescrita;
- .2 el sistema de calefacción se considerará un componente auxiliar esencial. Todos los componentes eléctricos de al menos uno de los sistemas proporcionados de conformidad con 6.4.13.1.1.3.1 se alimentarán de la fuente eléctrica de emergencia; y
- .3 la Administración incluirá el proyecto y la construcción del sistema de calefacción en la aprobación del sistema de contención.

#### 6.4.13.2 Materiales de las barreras primarias y de las barreras secundarias

6.4.13.2.1 Los materiales metálicos utilizados en la construcción de las barreras primarias y secundarias que no forman el casco deberán ser adecuados para las cargas de proyecto a las que se puedan ver sometidos, y se ajustarán a lo establecido en los cuadros 7.1, 7.2 o 7.3.

6.4.13.2.2 La Administración podrá aprobar los materiales que se utilicen en la construcción de las barreras primarias y secundarias, ya sean metálicos o no metálicos, pero que no figuren en los cuadros 7.1, 7.2 y 7.3, teniendo en cuenta las cargas de proyecto a las que se pueden ver sometidos, sus propiedades y el uso previsto para ellos.

6.4.13.2.3 Si se utilizan materiales no metálicos, incluidos materiales compuestos, para construir barreras primarias o secundarias, o si se incorporan en éstas, dichos materiales se someterán a pruebas para verificar las siguientes propiedades, según corresponda, a fin de garantizar que son adecuados para el servicio previsto:

- .1 compatibilidad con los combustibles de gas licuado;
- .2 envejecimiento;
- .3 propiedades mecánicas;
- .4 expansión y contracción térmicas;
- .5 abrasión;
- .6 cohesión;
- .7 resistencia a las vibraciones;
- .8 resistencia a la propagación de incendios y de las llamas; y
- .9 resistencia a los fallos por fatiga y a la propagación de fisuras.

6.4.13.2.4 Cuando proceda, estas propiedades se someterán a prueba para la gama de temperaturas comprendidas entre la temperatura máxima prevista en servicio y 5 °C por debajo de la temperatura de proyecto mínima, pero no por debajo de -196 °C.

6.4.13.2.5 Cuando se utilicen materiales no metálicos, incluidos materiales compuestos, para las barreras primarias y secundarias, los procesos de ensamblado también se someterán a pruebas tal como se describe *supra*.

6.4.13.2.6 Se podrá tener en cuenta la utilización de materiales que no sean resistentes a la propagación de incendios ni de las llamas en las barreras primarias y secundarias, siempre que estén protegidos por un sistema adecuado, como un entorno de gas inerte permanente, o que estén provistos de una barrera piroretardante.

#### 6.4.13.3 Aislamiento térmico y demás materiales utilizados en los sistemas de contención de combustible de gas licuado

6.4.13.3.1 El aislamiento térmico que soporta cargas y otros materiales utilizados en los sistemas de contención de combustible de gas licuado serán adecuados para las cargas de proyecto.

6.4.13.3.2 El aislamiento térmico y otros materiales utilizados en los sistemas de contención de combustible de gas licuado tendrán las características siguientes, según corresponda, a fin de garantizar que son adecuados para el servicio previsto:

- .1 compatibilidad con los combustibles de gas licuado;
- .2 solubilidad en el combustible de gas licuado;

- .3 absorción del combustible de gas licuado;
- .4 contracción;
- .5 envejecimiento;
- .6 contenido de tipo célula cerrada;
- .7 densidad;
- .8 propiedades mecánicas, en la medida en que se ven sometidos a los efectos del combustible de gas licuado y a otros efectos de la carga y de la expansión y contracción térmicas;
- .9 abrasión;
- .10 cohesión;
- .11 conductividad térmica;
- .12 resistencia a las vibraciones;
- .13 resistencia a la propagación de incendios y de llamas; y
- .14 resistencia a los fallos por fatiga y a la propagación de fisuras.

6.4.13.3.3 Cuando proceda, estas propiedades se someterán a prueba para la gama de temperaturas comprendidas entre la temperatura máxima prevista en servicio y 5 °C por debajo de la temperatura de proyecto mínima, pero no por debajo de -196 °C.

6.4.13.3.4 Debido a la ubicación o las condiciones ambientales, los materiales de aislamiento térmico tendrán las características adecuadas de resistencia a la propagación de incendios y de llamas, y estarán protegidos adecuadamente contra la penetración de vapor de agua y las averías mecánicas. Si el aislamiento térmico se encuentra en la cubierta expuesta o por encima de ésta, y en la zona de las penetraciones de la cubierta del tanque, contará con propiedades adecuadas de resistencia al fuego de conformidad con una norma reconocida o estará cubierto con un material que tenga propiedades de baja propagación de la llama y forme un cierre hermético a los vapores aprobado y eficaz.

6.4.13.3.5 El aislamiento térmico que no cumpla normas reconocidas de piroresistencia podrá utilizarse en espacios de bodega de almacenamiento de combustible que no se mantengan permanentemente inertizados a condición de que sus superficies estén recubiertas con un material que tenga características de débil propagación de la llama y que forme un cierre hermético a los vapores aprobado y eficaz.

6.4.13.3.6 Se llevarán a cabo pruebas de conductividad térmica del aislamiento térmico en muestras debidamente envejecidas.

6.4.13.3.7 Si se utiliza aislamiento térmico a base de polvo o granulado, se tomarán medidas para reducir la compactación en servicio y mantener la conductividad térmica prescrita, así como para evitar un aumento excesivo de la presión en el sistema de contención de combustible de gas licuado.

## **6.4.14 Procesos de construcción**

### 6.4.14.1 Proyecto de las juntas de soldadura

6.4.14.1.1 Todas las juntas soldadas de los forros de los tanques independientes serán del tipo de soldadura a tope en el plano con penetración total. Solamente para las soldaduras de la bóveda al forro se podrán utilizar juntas soldadas en T del tipo de penetración total, en función de los resultados de las pruebas realizadas durante la aprobación del procedimiento de soldadura. Con excepción de las penetraciones pequeñas en bóvedas, las soldaduras de boquilla también se proyectarán con penetración total.

6.4.14.1.2 A continuación se facilitan los detalles de las juntas de soldadura de los tanques independientes de tipo C, así como de las barreras primarias estancas a los líquidos de los tanques independientes de tipo B construidos principalmente de superficies curvas:

- .1 Todas las juntas longitudinales y circunferenciales serán de soldadura a tope, penetración total, de tipo V doble o único. Las soldaduras a tope de penetración total se obtendrán mediante doble soldadura o utilizando anillos cubrejuntas internos. Una vez utilizados, estos anillos se eliminarán, salvo que se trate de recipientes de elaboración a presión muy pequeños. Se permitirán otras preparaciones de los cantos en función de los resultados de las pruebas realizadas durante la aprobación del procedimiento de soldadura. Para las uniones del forro del tanque a un mamparo longitudinal de tanques bilobulares de tipo C se podrán aceptar soldaduras en T de penetración total.
- .2 La preparación del bisel de las juntas entre el cuerpo del tanque y las bóvedas y entre las bóvedas y los accesorios correspondientes se proyectarán de conformidad con una norma que resulte aceptable para la Administración. Todas las soldaduras que conecten boquillas, bóvedas y otras penetraciones de los recipientes, así como todas las soldaduras que conecten las bridas a los recipientes o a las boquillas serán soldaduras de penetración total.

### 6.4.14.2 Proyecto para el encolado y otros procedimientos de ensamblado

6.4.14.2.1 En el proyecto de una junta que vaya a encolarse (o ensamblarse por medio de algún otro procedimiento que no sea la soldadura) se tendrán en cuenta las características de resistencia del procedimiento de ensamblado.

## **6.4.15 Tipos de tanque**

### 6.4.15.1 Tanques independientes de tipo A

#### 6.4.15.1.1 Base del proyecto

6.4.15.1.1.1 Los tanques independientes de tipo A son tanques que se proyectan principalmente utilizando procedimientos clásicos de análisis estructural del buque, de conformidad con las prescripciones establecidas por la Administración. Cuando dichos tanques se construyan principalmente con superficies planas, la presión de vapor de proyecto ( $P_0$ ) será inferior a 0,07 MPa.

6.4.15.1.1.2 Se prescribe una barrera secundaria completa como la definida en 6.4.3. La barrera secundaria se proyectará de conformidad con lo dispuesto en 6.4.4.

#### 6.4.15.1.2 *Análisis estructural*

6.4.15.1.2.1 Se realizará un análisis estructural teniendo en cuenta la presión interna que se indica en 6.4.9.3.3.1, y las cargas de interacción con el sistema de soporte y sujeción, así como una parte razonable del casco del buque.

6.4.15.1.2.2 Para partes tales como la estructura en la zona de los soportes que no se contemplan en las reglas de este código, los esfuerzos se determinarán mediante cálculos directos, teniendo en cuenta las cargas mencionadas en 6.4.9.2 a 6.4.9.5 según proceda, y la flexión del buque en la zona de los soportes.

6.4.15.1.2.3 Los tanques con soportes se proyectarán para resistir las cargas accidentales especificadas en 6.4.9.5. No es necesario combinar estas cargas entre sí ni con las cargas ambientales.

#### 6.4.15.1.3 *Condición de proyecto sobre resistencia a la rotura*

6.4.15.1.3.1 En el caso de los tanques contruidos principalmente de superficies planas, cuando se calculen los esfuerzos de membrana nominales de los elementos primarios y secundarios (rigidizadores, bulárcamas, palmejares, vigas) mediante procedimientos de análisis clásicos, dichos esfuerzos no serán superiores al menor de los valores  $R_m/2,66$  o  $R_e/1,33$  para aceros al níquel, aceros al carbonomanganeso, aceros austeníticos y aleaciones de aluminio, de acuerdo con las definiciones de  $R_m$  y  $R_e$  que figuran en 6.4.12.1.1.3. Sin embargo, si se realizan cálculos detallados para los elementos principales, el esfuerzo equivalente  $\sigma_c$  definido en 6.4.12.1.1.4 podrá exceder lo indicado anteriormente hasta llegar a un esfuerzo aceptable a juicio de la Administración. En los cálculos se tendrán en cuenta los efectos de la deformación por flexión, corte, axial y de torsión, así como las fuerzas de interacción entre el casco y el tanque de combustible de gas licuado debidas a la flexión de la estructura del casco y de los fondos de los tanques de combustible de gas licuado.

6.4.15.1.3.2 Para los tanques profundos, los escantillones del contorno del tanque deberán cumplir como mínimo las prescripciones de la Administración, teniendo en cuenta la presión interna que se indica en 6.4.9.3.3.1 y cualquier tolerancia de corrosión prescrita en 6.4.1.7.

6.4.15.1.3.3 Se examinará la estructura de los tanques de combustible de gas licuado con respecto a un posible pandeo.

#### 6.4.15.1.4 *Condición de proyecto sobre accidentes*

6.4.15.1.4.1 Los tanques y sus soportes se proyectarán para las cargas accidentales y las condiciones de proyecto sobre accidentes que se especifican en 6.4.9.5 y 6.4.1.6.3, según proceda.

6.4.15.1.4.2 Cuando se ejerzan las cargas accidentales especificadas en 6.4.9.5, el esfuerzo se ajustará a los criterios de aceptación especificados en 6.4.15.1.3, modificados según sea necesario teniendo en cuenta la baja probabilidad de que se registren dichas cargas accidentales.

#### 6.4.15.2 Tanques independientes de tipo B

##### 6.4.15.2.1 Base del proyecto

6.4.15.2.1.1 Los tanques independientes de tipo B son tanques proyectados utilizando pruebas con modelos, instrumentos de análisis precisos y métodos de análisis para determinar los niveles de esfuerzo, la vida útil determinada por la resistencia a la fatiga y las características de propagación de las fisuras. Cuando dichos tanques se construyan principalmente con superficies planas (tanques prismáticos), la presión de vapor de proyecto ( $P_o$ ) será inferior a 0,07 MPa.

6.4.15.2.1.2 Se prescribe una barrera secundaria parcial con un sistema de protección como la definida en 6.4.3. El sistema de protección de fugas menores se proyectará de conformidad con lo dispuesto en 6.4.5.

##### 6.4.15.2.2 Análisis estructural

6.4.15.2.2.1 Los efectos de todas las cargas dinámicas y estáticas se utilizarán para determinar la idoneidad de la estructura respecto de:

- .1 la deformación plástica;
- .2 el pandeo;
- .3 la avería por fatiga; y
- .4 la propagación de fisuras.

Se realizarán análisis de los elementos finitos o se aplicarán métodos similares, así como análisis de la mecánica de fracturas o un método equivalente.

6.4.15.2.2.2 Se realizará un análisis tridimensional para evaluar los niveles de esfuerzo, incluida la interacción con el casco del buque. El modelo para este análisis comprenderá el tanque de combustible de gas licuado con su sistema de soporte y sujeción, así como una parte razonable del casco.

6.4.15.2.2.3 Se realizará un análisis completo de las aceleraciones y los movimientos específicos del buque en olas irregulares, así como de la respuesta del buque y de sus tanques de combustible de gas licuado a estas fuerzas y movimientos, a menos que se disponga de datos de buques similares.

##### 6.4.15.2.3 Condición de proyecto sobre resistencia a la rotura

###### 6.4.15.2.3.1 Deformación plástica

En el caso de los tanques independientes de tipo B que estén construidos principalmente con cuerpos de revolución, los esfuerzos admisibles no excederán los siguientes valores:

$$\begin{array}{ll} \sigma_m & \leq f \\ \sigma_L & \leq 1,5 f \\ \sigma_b & \leq 1,5 F \\ \sigma_L + \sigma_b & \leq 1,5 F \\ \sigma_m + \sigma_b & \leq 1,5 F \\ \sigma_m + \sigma_b + \sigma_g & \leq 3,0 F \\ \sigma_L + \sigma_b + \sigma_g & \leq 3,0 F \end{array}$$

donde:

$\sigma_m$  = esfuerzo de membrana primario general equivalente;

$\sigma_L$  = esfuerzo de membrana primario local equivalente;

$\sigma_b$  = esfuerzo flector primario equivalente;

$\sigma_g$  = esfuerzo secundario equivalente;

$f$  = el menor de  $(R_m/A)$  o  $(R_e/B)$ ; y

$F$  = el menor de  $(R_m/C)$  o  $(R_e/D)$ ,

siendo  $R_m$  y  $R_e$  los que se definen en 6.4.12.1.1.3. Con respecto a los esfuerzos  $\sigma_m$ ,  $\sigma_L$ ,  $\sigma_g$  y  $\sigma_b$ , consúltense también las definiciones de las categorías de esfuerzos que figuran en 6.4.15.2.3.6.

A y B tendrán los siguientes valores mínimos:

|   | Aceros al níquel<br>y aceros al<br>carbonomanganeso | Aceros<br>austeníticos | Aleaciones de<br>aluminio |
|---|---|------------------------|---------------------------|
| A | 3   | 3,5                    | 4                         |
| B | 2   | 1,6                    | 1,5                       |
| C | 3   | 3                      | 3                         |
| D | 1,5   | 1,5                    | 1,5                       |

Estas cifras podrán modificarse teniendo en cuenta la condición de proyecto considerada aceptable por la Administración. Para los tanques independientes de tipo B, construidos principalmente de superficies planas, los esfuerzos equivalentes admisibles de membrana que se apliquen para el análisis de elementos finitos no excederán de:

- .1 para los aceros al níquel y los aceros al carbonomanganeso, el menor de  $R_m/2$  o  $R_e/1,2$ ;
- .2 para los aceros austeníticos, el menor de  $R_m/2,5$  o  $R_e/1,2$ ; y
- .3 para las aleaciones de aluminio, el menor de  $R_m/2,5$  o  $R_e/1,2$ .

Las cifras señaladas anteriormente podrán modificarse teniendo en cuenta la ubicación del esfuerzo, los métodos de análisis del esfuerzo y la condición de proyecto considerada aceptable por la Administración.

El espesor de la plancha del forro y el tamaño del rigidizador no serán menores que los prescritos para los tanques independientes de tipo A.

#### 6.4.15.2.3.2 Pandeo

Se llevarán a cabo análisis de resistencia al pandeo de los tanques de combustible de gas licuado sujetos a presión externa y otras cargas que causen esfuerzos de compresión, de conformidad con normas reconocidas. En el método se tendrá debidamente en cuenta la diferencia entre los esfuerzos de pandeo teórico y práctico como resultado de la desalineación

de los bordes de la plancha, la falta de rectitud o planicidad, la ovalidad y la desviación con respecto a una forma rigurosamente circular a lo largo de un arco o una cuerda específicos, según proceda.

#### 6.4.15.2.3.3 Condición de proyecto sobre fatiga

6.4.15.2.3.3.1 La evaluación de la propagación de las fisuras y la fatiga se realizará de acuerdo con lo dispuesto en 6.4.12.2. Los criterios de aceptación se ajustarán a lo prescrito en 6.4.12.2.7, 6.4.12.2.8 o 6.4.12.2.9, en función del grado de detectabilidad del defecto.

6.4.15.2.3.3.2 En el análisis de la fatiga se tendrán en cuenta las tolerancias de construcción.

6.4.15.2.3.3.3 Cuando la Administración lo estime necesario, se podrá prescribir la realización de pruebas con modelos para determinar los factores de concentración de los esfuerzos y la vida determinada por la resistencia a la fatiga de los elementos estructurales.

#### 6.4.15.2.3.4 Condición de proyecto sobre accidentes

6.4.15.2.3.4.1 Los tanques y sus soportes se proyectarán para las cargas accidentales y las condiciones de proyecto sobre accidentes que se especifican en 6.4.9.5 y 6.4.1.6.3, según proceda.

6.4.15.2.3.4.2 Cuando se ejerzan las cargas accidentales especificadas en 6.4.9.5, el esfuerzo se ajustará a los criterios de aceptación especificados en 6.4.15.2.3, modificados según sea necesario teniendo en cuenta la baja probabilidad de que se registren dichas cargas accidentales.

#### 6.4.15.2.3.5 Marcado

El marcado del recipiente a presión se hará con un método que no cause incrementos del esfuerzo local inadmisibles.

#### 6.4.15.2.3.6 Categorías de esfuerzos

A los efectos de la evaluación del esfuerzo, en la presente sección se definen las categorías de esfuerzo que se indican a continuación.

- .1 El *esfuerzo normal* es el componente del esfuerzo normal al plano de referencia.
- .2 El *esfuerzo de membrana* es el componente del esfuerzo normal que se distribuye de forma uniforme y equivale al valor medio del esfuerzo a través del espesor de la sección objeto de examen.
- .3 El *esfuerzo flector* es el esfuerzo variable a través del espesor de la sección objeto de examen, tras la eliminación del esfuerzo de membrana.
- .4 El *esfuerzo cortante* es el componente del esfuerzo que actúa en el plano de referencia.

- .5 El *esfuerzo primario* es un esfuerzo producido por la carga aplicada, que es necesario para equilibrar las fuerzas y momentos externos. La característica básica de un esfuerzo primario es que no es autolimitante. Los esfuerzos primarios que exceden considerablemente el límite de elasticidad se traducirán en fallos o al menos en deformaciones importantes.
- .6 El *esfuerzo de membrana primario general* es un esfuerzo de membrana primario que se distribuye de forma tal en la estructura que no conlleva la redistribución de la carga como consecuencia de la deformación permanente.
- .7 El *esfuerzo de membrana primario local* surge cuando un esfuerzo de membrana producido por la presión u otra carga mecánica y asociado con un efecto primario o de discontinuidad genera una distorsión excesiva en la transferencia de las cargas para otras partes de la estructura. Un esfuerzo de ese tipo se clasifica como un esfuerzo de membrana primario local, si bien tiene algunas características propias de un esfuerzo secundario. Una región de esfuerzo podrá considerarse local si:

$$S_1 \leq 0,5\sqrt{Rt} \text{ y}$$

$$S_2 \geq 2,5\sqrt{Rt} \text{ ,}$$

donde:

$S_1$  = distancia en la dirección meridional sobre la cual el esfuerzo equivalente excede de  $1,1f$ ;

$S_2$  = distancia en la dirección meridional hasta otra región en la que se superan los límites del esfuerzo de membrana primario general;

$R$  = radio medio del recipiente;

$t$  = espesor de la pared del recipiente en el lugar en el que se supera el límite del esfuerzo de membrana primario general; y

$f$  = esfuerzo de membrana primario general admisible.

- .8 El *esfuerzo secundario* es un esfuerzo normal o un esfuerzo cortante causado por la compresión de las partes adyacentes o la autocompresión de una estructura. La característica básica de un esfuerzo secundario es que es autolimitante. Tanto las deformaciones permanentes locales como las pequeñas distorsiones pueden cumplir las condiciones que originan el esfuerzo.

#### 6.4.15.3 Tanques independientes de tipo C

##### 6.4.15.3.1 Base del proyecto

6.4.15.3.1.1 La base del proyecto para los tanques independientes de tipo C se basa en los criterios relativos a recipientes a presión modificados para incluir la mecánica de fracturas y los criterios de propagación de fisuras. La presión de proyecto mínima definida en 6.4.15.3.1.2 tiene por finalidad garantizar que el esfuerzo dinámico sea lo suficientemente bajo, de manera que un fallo inicial en la superficie no se propague más de la mitad del espesor del forro del tanque durante la vida útil del tanque.

6.4.15.3.1.2 La presión de vapor de proyecto no será inferior a:

$$P_o = 0,2 + AC(\rho_r)^{1,5} \text{ (MPa),}$$

siendo:

$$A = 0,00185((\sigma_m / \Delta\sigma_A))^2$$

donde:

$\sigma_m$  = esfuerzo de membrana primario de proyecto

$\Delta\sigma_A$  = esfuerzo de membrana dinámico admisible (amplitud doble al nivel de probabilidad  $Q = 10^{-8}$ ) y equivalente a:

- 55 N/mm<sup>2</sup> para acero ferrítico-perlítico, martensítico y austenítico;
- 25 N/mm<sup>2</sup> para las aleaciones de aluminio (5083-O);

$C$  = una dimensión característica del tanque; se tomará el mayor de los siguientes valores:

$$h, 0,75b \text{ o } 0,45l,$$

donde:

$h$  = altura del tanque (dimensión en la dirección vertical del buque) (m);

$b$  = anchura del tanque (dimensión en la dirección transversal del buque) (m);

$l$  = longitud del tanque (dimensión en la dirección longitudinal del buque) (m);

$\rho_r$  = densidad relativa de la carga ( $\rho_r = 1$  para el agua dulce) a la temperatura de proyecto.

#### 6.4.15.3.2 *Espesor del forro*

6.4.15.3.2.1 Al examinar el espesor del forro se observarán los siguientes criterios:

- .1 respecto de los recipientes a presión, el espesor calculado de acuerdo con lo establecido en 6.4.15.3.2.4 se considerará un espesor mínimo después de su conformación, sin ninguna tolerancia negativa;
- .2 respecto de los recipientes a presión, el espesor mínimo del forro y los cabezales, incluida la tolerancia de corrosión después de su conformación, no será inferior a 5 mm para los aceros al carbonomanganeso y los aceros al níquel, 3 mm para los aceros austeníticos y 7 mm para las aleaciones de aluminio; y
- .3 el coeficiente de eficacia de las juntas soldadas que se utilizará en el cálculo establecido en 6.4.15.3.2.4 será de 0,95 cuando se lleven a cabo la inspección y las pruebas no destructivas a las que se hace referencia

en 16.3.6.4. Esta cifra se podrá aumentar hasta 1,0 si se tienen en cuenta otras consideraciones, tales como el material utilizado, el tipo de juntas, el procedimiento de soldadura y el tipo de carga. Para los recipientes de elaboración a presión, la Administración podrá aceptar exámenes parciales no destructivos, aunque no inferiores a los indicados en 16.3.6.4, en función de factores tales como el material utilizado, la temperatura de proyecto, la temperatura de transición a ductilidad nula del material de fábrica y el tipo de junta y el procedimiento de soldadura, aunque en este caso se adoptará un coeficiente de eficacia no superior a 0,85. Para los materiales especiales, se reducirán los factores mencionados en función de las propiedades mecánicas especificadas de la junta soldada.

6.4.15.3.2.2 La presión del líquido de proyecto definida en 6.4.9.3.3.1 se tendrá en cuenta en los cálculos de la presión interna.

6.4.15.3.2.3 La presión externa de proyecto ( $P_e$ ) utilizada para comprobar el pandeo de los recipientes a presión no será inferior a la que resulte de:

$$P_e = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \text{ (MPa)}$$

donde:

$P_1$  = valor de tarado de las válvulas de alivio de vacío. En el caso de los buques que no estén equipados con este tipo de válvulas  $P_1$ , se examinará de manera especial, aunque, en general, no se considerará inferior a 0,025 MPa.

$P_2$  = presión de tarado de las válvulas aliviadoras de presión para espacios completamente cerrados que contienen recipientes a presión o partes de éstos; en otros lugares,  $P_2 = 0$ .

$P_3$  = efectos de compresión en el forro o sobre el forro debido al peso y la contracción del aislamiento térmico, el peso del forro, incluida la tolerancia de corrosión y otras cargas varias de presión externa a las que puede verse sometido el recipiente a presión. Entre ellas se incluyen el peso de las bóvedas, el peso de las torres y tuberías, el efecto del producto en la condición de llenado parcial, las aceleraciones y la deformación del casco. Además, se tendrá en cuenta el efecto local de las presiones externas o internas o de ambas.

$P_4$  = presión externa resultante de la presión hidrostática de los recipientes a presión o parte de éstos en las cubiertas expuestas; en otros lugares,  $P_4 = 0$ .

6.4.15.3.2.4 Los escantillones basados en la presión interna se calcularán de la siguiente manera:

Se determinarán el espesor y la forma de las partes que están a presión de los recipientes a presión, a la presión interna que se define en 6.4.9.3.3.1, incluidas las bridas. Estos cálculos se basarán, en todos los casos, en la teoría de proyecto aceptada para los recipientes a presión. Las aberturas de las partes que están a presión de los recipientes a presión se reforzarán de conformidad con una norma reconocida que sea aceptable para la Administración.

6.4.15.3.2.5 El análisis de esfuerzos respecto de las cargas estáticas y dinámicas se realizará de la siguiente manera:

- .1 los escantillones de los recipientes a presión se determinarán de conformidad con lo prescrito en 6.4.15.3.2.1 a 6.4.15.3.2.4 y 6.4.15.3.3;
- .2 se harán cálculos de las cargas y de los esfuerzos en la zona de los soportes y de la sujeción al forro del soporte. Se utilizarán las cargas mencionadas en 6.4.9.2 a 6.4.9.5, según corresponda. Los esfuerzos en la zona de los soportes se ajustarán a lo establecido en una norma reconocida que sea aceptable para la Administración. En casos particulares, la Administración podrá pedir que se realice un análisis de la fatiga; y
- .3 Si así lo dispone la Administración, los esfuerzos secundarios y los esfuerzos térmicos se examinarán especialmente.

#### 6.4.15.3.3 Condición de proyecto sobre resistencia a la rotura

##### 6.4.15.3.3.1 Deformación plástica

En el caso de los tanques independientes de tipo C, los esfuerzos admisibles no excederán los siguientes valores:

$$\begin{array}{ll}
 \sigma_m & \leq f \\
 \sigma_L & \leq 1,5f \\
 \sigma_b & \leq 1,5f \\
 \sigma_L + \sigma_b & \leq 1,5f \\
 \sigma_m + \sigma_b & \leq 1,5f \\
 \sigma_m + \sigma_b + \sigma_g & \leq 3,0 f \\
 \sigma_L + \sigma_b + \sigma_g & \leq 3,0 f,
 \end{array}$$

donde:

$\sigma_m$  = esfuerzo de membrana primario general equivalente;

$\sigma_L$  = esfuerzo de membrana primario local equivalente;

$\sigma_b$  = esfuerzo flector primario equivalente;

$\sigma_g$  = esfuerzo secundario equivalente; y

$f$  = el menor de ( $R_m / A$ ) o ( $R_e / B$ ),

siendo  $R_m$  y  $R_e$  los que se definen en 6.4.12.1.1.3. Con respecto a los esfuerzos  $\sigma_m$ ,  $\sigma_L$ ,  $\sigma_g$  y  $\sigma_b$ , consúltense también las definiciones de las categorías de esfuerzos que figuran en 6.4.15.2.3.6. A y B tendrán los siguientes valores mínimos:

|   | Aceros al níquel<br>y aceros al<br>carbonomanganeso | Aceros<br>austeníticos | Aleaciones de<br>aluminio |
|---|---|------------------------|---------------------------|
| A | 3   | 3,5                    | 4                         |
| B | 1,5   | 1,5                    | 1,5                       |

6.4.15.3.3.2 Los criterios de pandeo se establecerán de la siguiente manera:

El espesor y la forma de los recipientes a presión sometidos a la presión externa y otras cargas que causen esfuerzos de compresión se basarán en cálculos que utilicen la teoría de pandeo aceptada para los recipientes a presión y tendrán debidamente en cuenta la diferencia entre los esfuerzos de pandeo teórico y práctico como resultado de la desalineación de los bordes de las planchas, la ovalidad y la desviación con respecto a una forma rigurosamente circular a lo largo de un arco o una cuerda específicos.

6.4.15.3.4 *Condición de proyecto sobre fatiga*

6.4.15.3.4.1 En el caso de los tanques independientes de tipo C, cuando el combustible de gas licuado a presión atmosférica esté por debajo de  $-55\text{ °C}$ , la Administración podrá disponer que se realice una verificación adicional para comprobar el cumplimiento de lo prescrito en 6.4.15.3.1.1 en relación con el esfuerzo estático y dinámico en función del tamaño del tanque, su configuración y la disposición de sus soportes y conexiones.

6.4.15.3.4.2 En el caso de los tanques aislados por vacío, se prestará especial atención a la resistencia a la fatiga del proyecto de los soportes, así como a las posibilidades limitadas de inspección del espacio que se forma entre el forro interior y el exterior.

6.4.15.3.5 *Condición de proyecto sobre accidentes*

6.4.15.3.5.1 Los tanques y sus soportes se proyectarán para las cargas accidentales y las condiciones de proyecto sobre accidentes que se especifican en 6.4.9.5 y 6.4.1.6.3, según proceda.

6.4.15.3.5.2 Cuando se ejerzan las cargas accidentales especificadas en 6.4.9.5, el esfuerzo se ajustará a los criterios de aceptación especificados en 6.4.15.3.3.1, modificados según sea necesario teniendo en cuenta la baja probabilidad de que se registren dichas cargas accidentales.

6.4.15.3.6 *Marcado*

El marcado prescrito del recipiente a presión se hará con un método que no cause incrementos del esfuerzo local inadmisibles.

6.4.15.4 Tanques de membrana

6.4.15.4.1 *Base del proyecto*

6.4.15.4.1.1 La base del proyecto para los sistemas de contención de membrana consiste en que la expansión o contracción térmicas y de otra índole se compensen sin que ello entrañe riesgos indebidos de pérdida de estanquidad de la membrana.

6.4.15.4.1.2 Se utilizará un enfoque sistemático, basado en análisis y pruebas, para demostrar que el sistema cumplirá la función que se le ha asignado, teniendo en cuenta los sucesos que se produzcan durante el servicio estipulados en 6.4.15.4.2.1.

6.4.15.4.1.3 Se prescribe una barrera secundaria completa como la definida en 6.4.3. La barrera secundaria se proyectará de conformidad con lo dispuesto en 6.4.4.

6.4.15.4.1.4 Normalmente, la presión de vapor de proyecto ( $P_o$ ) no será superior a 0,025 MPa. Si los escantillones del casco se aumentan en consecuencia, y se examina, según corresponda, la resistencia del aislamiento térmico de apoyo,  $P_o$  podrá aumentarse hasta un valor superior, aunque se mantendrá por debajo de 0,070 MPa.

6.4.15.4.1.5 En la definición de tanque de membrana no se excluyen los proyectos en los que se utilizan membranas no metálicas o en los que las membranas se incluyen o incorporan en el aislamiento térmico.

6.4.15.4.1.6 Normalmente, el espesor de las membranas no superará los 10 mm.

6.4.14.4.1.7 La circulación de gas inerte en el espacio de aislamiento primario y el espacio de aislamiento secundario, de conformidad con lo prescrito en 6.11.1, bastará para proveer medios eficaces de detección de gas.

#### 6.4.15.4.2 Consideraciones de proyecto

6.4.15.4.2.1 Se evaluarán los sucesos que podrían conllevar la pérdida de estanquidad a los fluidos durante la vida útil de las membranas. Entre ellos se incluyen los siguientes:

- .1 Sucesos de proyecto sobre resistencia a la rotura:
  - .1 fallo de tracción de las membranas;
  - .2 fallo de compresión del aislamiento térmico;
  - .3 envejecimiento térmico;
  - .4 pérdida de fijación entre el aislamiento térmico y la estructura del casco;
  - .5 pérdida de fijación de las membranas al sistema de aislamiento térmico;
  - .6 integridad estructural de las estructuras interiores y de sus estructuras de apoyo; y
  - .7 fallo de la estructura de apoyo en el casco;
- .2 Sucesos de proyecto sobre fatiga:
  - .1 fatiga de las membranas, incluidas las juntas y fijaciones a la estructura del casco;
  - .2 fisuración por fatiga del aislamiento térmico;
  - .3 fatiga de las estructuras internas y de sus estructuras de apoyo; y
  - .4 fisuración por fatiga del forro interior del casco que deje entrar agua de lastre.

- .3 Sucesos de proyecto sobre accidentes:
  - .1 avería mecánica accidental (por ejemplo, la caída de objetos dentro del tanque estando éste en servicio);
  - .2 presurización excesiva accidental de los espacios de aislamiento térmico;
  - .3 vacío accidental en el tanque; y
  - .4 entrada de agua a través de la estructura del forro interior del casco.

Son inadmisibles los proyectos en los cuales un suceso interno aislado pueda ocasionar el fallo simultáneo o en cascada de ambas membranas.

6.4.15.4.2.2 Las propiedades físicas necesarias (de índole mecánica, térmica, química, etc.) de los materiales utilizados en la construcción del sistema de contención de combustible de gas licuado se determinarán durante la elaboración del proyecto de conformidad con lo previsto en 6.4.15.4.1.2.

#### 6.4.15.4.3 *Cargas y combinaciones de cargas*

Se prestará especial atención a la posible pérdida de integridad del tanque, ya sea como consecuencia de una sobrepresión en el espacio interbarreras, un posible vacío en el tanque de combustible de gas licuado, los efectos del chapoteo, los efectos de la vibración del casco o una combinación de estas circunstancias.

#### 6.4.15.4.4 *Análisis estructurales*

6.4.15.4.4.1 Se realizarán análisis y/o pruebas estructurales a fin de determinar la resistencia a la rotura, así como evaluaciones de la fatiga del sistema de contención de combustible de gas licuado y de las estructuras y el equipo conexos que se señalan en 6.4.7. Mediante el análisis estructural se proporcionará la información necesaria para evaluar cada modalidad de fallo que se haya determinado como crítica para el sistema de contención de combustible de gas licuado.

6.4.15.4.4.2 En los análisis estructurales del casco se tendrá en cuenta la presión interna que se indica en 6.4.9.3.3.1. Se prestará especial atención a las flexiones del casco y a su compatibilidad con la membrana y el aislamiento térmico correspondiente.

6.4.15.4.4.3 Los análisis mencionados en 6.4.15.4.4.1 y 6.4.15.4.4.2 se basarán en los movimientos, aceleraciones y respuestas específicos de los buques y de los sistemas de contención de combustible de gas licuado.

#### 6.4.15.4.5 *Condición de proyecto sobre resistencia a la rotura*

6.4.15.4.5.1 Se determinará la resistencia estructural de todos los componentes, subsistemas o ensamblajes esenciales para las condiciones de servicio, de conformidad con lo establecido en 6.4.15.4.1.2.

6.4.15.4.5.2 La elección de los criterios de aceptación de la resistencia relativos a las modalidades de fallo del sistema de contención de combustible de gas licuado y sus fijaciones a la estructura del casco y a las estructuras internas del tanque reflejará las consecuencias de la modalidad de fallo que se esté examinando.

6.4.15.4.5.3 Los escantillones del forro interior del casco cumplirán las reglas aplicables a los tanques profundos, teniendo en cuenta la presión interna que se indica en 6.4.9.3.3.1, así como las reglas adecuadas específicas para las cargas debidas al chapoteo definidas en 6.4.9.4.1.3.

#### 6.4.15.4.6 *Condición de proyecto sobre fatiga*

6.4.15.4.6.1 Si la propagación de fallos no se puede detectar de forma fiable mediante una vigilancia continua, se realizará un análisis de la fatiga de las estructuras internas del tanque, por ejemplo, de las torres de bombeo y de algunas partes de la membrana y las fijaciones de las torres de bombeo.

6.4.15.4.6.2 Los cálculos de la fatiga se realizarán de conformidad con lo dispuesto en 6.4.12.2, mediante las reglas correspondientes y en función de:

- .1 la importancia de los componentes estructurales en relación con la integridad estructural; y
- .2 la disponibilidad para la inspección.

6.4.15.4.6.3 En el caso de los elementos estructurales para los que pueda demostrarse por medio de pruebas y/o análisis que no se formará una fisura que cause un fallo simultáneo o en cascada de ambas membranas,  $C_w$  será inferior o igual a 0,5.

6.4.15.4.6.4 Los elementos estructurales sujetos a inspecciones periódicas, en los que una fisura por fatiga a la que no se preste atención puede aumentar y ocasiona un fallo simultáneo o en cascada de ambas membranas, cumplirán las reglas aplicables a la fatiga y a la mecánica de fracturas indicadas en 6.4.12.2.8.

6.4.15.4.6.5 El elemento estructural que no sea accesible para la inspección durante el servicio, en el que una fisura por fatiga puede aumentar sin aviso y ocasionar un fallo simultáneo o en cascada de ambas membranas, cumplirá las reglas aplicables a la fatiga y a la mecánica de fracturas indicadas en 6.4.12.2.9.

#### 6.4.15.4.7 *Condición de proyecto sobre accidentes*

6.4.15.4.7.1 El sistema de contención y la estructura de apoyo en el casco se proyectarán para las cargas accidentales especificadas en 6.4.9.5. Estas cargas no deberán combinarse entre sí ni con las cargas ambientales.

6.4.15.4.7.2 Se establecerán supuestos adicionales de accidentes pertinentes sobre la base de un análisis de riesgos. Se prestará especial atención a los dispositivos de fijación en el interior de los tanques.

### 6.4.16 *Proyecto de estado límite para conceptos innovadores*

6.4.16.1 Los sistemas de contención de combustible de configuración innovadora que no puedan proyectarse aplicando la sección 6.4.15 se proyectarán utilizando esta sección y los párrafos 6.4.1 a 6.4.14, según corresponda. El proyecto de un sistema de contención de combustible de conformidad con esta sección se basará en los principios del proyecto de estado límite, que constituye un método de proyecto estructural que puede aplicarse tanto a soluciones de proyecto consolidadas como a proyectos innovadores. Este método más genérico permite mantener un nivel de seguridad semejante al que se logra con los sistemas de contención conocidos que se proyectan utilizando 6.4.15.

6.4.16.2.1 El proyecto de estado límite es un método sistemático en el que cada elemento estructural se evalúa con respecto a posibles modalidades de fallo relacionadas con las condiciones de proyecto señaladas en 6.4.1.6. Un estado límite puede definirse como la condición más allá de la cual la estructura, o parte de la estructura, deja de cumplir las reglas.

6.4.16.2.2 Es posible que para cada modalidad de fallo se apliquen uno o varios estados límite. Al considerar todos los estados límite pertinentes, la carga límite del elemento estructural equivale a la carga límite mínima resultante de todos los estados límite pertinentes. Los estados límite se dividen en las tres categorías siguientes:

- .1 Estados límite de rotura, que corresponden a la capacidad máxima de transporte de carga o, en algunos casos, al esfuerzo o deformación máximos aplicables en condición sin avería.
- .2 Estados límite de fatiga, que corresponden a la degradación debida al efecto de una carga que varía con el tiempo (cíclica).
- .3 Estados límite de accidente, que guardan relación con la capacidad de resistencia de la estructura en caso de accidentes.

6.4.16.3 El procedimiento y los parámetros de proyecto pertinentes del proyecto de estado límite se ajustarán a la "Norma para la utilización de las metodologías de estado límite en el proyecto de los sistemas de contención de combustible de características innovadoras", que figura en el anexo de la parte A-1.

## **6.5 Reglas aplicables a los tanques portátiles de combustible de gas licuado**

6.5.1 El proyecto del tanque se ajustará a lo dispuesto en 6.4.15.3. El soporte del tanque (el bastidor del contenedor o el chasis del camión) se proyectará para el fin previsto.

6.5.2 Los tanques de combustible portátiles se colocarán en zonas especiales para ello que ofrezcan:

- .1 protección mecánica de los tanques en función de la ubicación y las operaciones de carga;
- .2 si se encuentran en cubiertas expuestas, sistemas de protección contra derrames y aspersión de agua con fines de enfriamiento; y
- .3 si se encuentran en un espacio cerrado, se considerará que el espacio es un espacio de conexión de tanques.

6.5.3 Los tanques de combustible portátiles se fijarán a cubierta mientras estén conectados a los sistemas del buque. Los medios para sostenerlos y fijarlos se proyectarán para las inclinaciones estáticas y dinámicas máximas previstas y los valores máximos de aceleración previstos, teniendo en cuenta las características del buque y la posición de los tanques.

6.5.4 Se tendrán en cuenta la resistencia de los tanques de combustible portátiles y sus efectos en la estabilidad del buque.

6.5.5 Las conexiones a los sistemas de tuberías de combustible del buque se harán mediante conductos flexibles aprobados u otros medios adecuados proyectados para proporcionar suficiente flexibilidad.

6.5.6 Se dispondrán los medios necesarios para limitar la cantidad de combustible derramado en caso de que se produzca una desconexión no intencional o la rotura de las conexiones provisionales.

6.5.7 El sistema de alivio de presión de los tanques portátiles estará conectado a un sistema de respiración fijo.

6.5.8 Los sistemas de control y vigilancia de los tanques de combustible portátiles estarán integrados en el sistema de control y vigilancia del buque. El sistema de seguridad de los tanques de combustible portátiles estará integrado en el sistema de seguridad del buque (por ejemplo, los sistemas de desactivación de las válvulas de los tanques y los sistemas de detección de fugas y gases).

6.5.9 Se garantizará el acceso seguro a las conexiones de los tanques con fines de inspección y mantenimiento.

6.5.10 Una vez hecha la conexión al sistema de tuberías de combustible del buque:

- .1 con la excepción del sistema de alivio de presión indicado en 6.5.6, todos los tanques portátiles deberán poder aislarse en cualquier momento;
- .2 el aislamiento de un tanque no repercutirá en la disponibilidad de los demás tanques portátiles; y
- .3 los tanques no excederán los límites de llenado que se indican en 6.8.

## 6.6 Reglas aplicables a la contención de combustible GNC

6.6.1 Los tanques que se utilicen para el almacenamiento de GNC habrán sido certificados y aprobados por la Administración.

6.6.2 Los tanques de GNC estarán dotados de válvulas de alivio de presión, taradas a un valor inferior al de la presión de proyecto del tanque y con un orificio de salida situado como se prescribe en 6.7.2.7 y 6.7.2.8.

6.6.3 Se proveerán los medios adecuados para despresurizar el tanque en caso de que se declare un incendio que pueda afectarlo.

6.6.4 El almacenamiento de GNC en espacios cerrados normalmente no es aceptable, pero podrá permitirse tras un examen y aprobación especiales de la Administración, siempre que, además de lo prescrito en 6.3.4 a 6.3.6, se cumpla lo siguiente:

- .1 se provean los medios adecuados para despresurizar e inertizar el tanque en caso de que se declare un incendio que pueda afectarlo;
- .2 todas las superficies dentro de los espacios cerrados en que se almacena GNC cuenten con protección térmica adecuada para evitar la pérdida de gas a alta presión y la consiguiente condensación, a menos que los mamparos estén proyectados para la temperatura más baja que pueda darse como consecuencia de una fuga de gas por expansión; y
- .3 se instale un sistema fijo de extinción de incendios en los espacios cerrados en que se almacena GNC. Se debería prestar especial atención a la extinción de incendios de chorro.

## 6.7 Reglas aplicables al sistema de alivio de presión

### 6.7.1 Generalidades

6.7.1.1 Todos los tanques de almacenamiento de combustible irán provistos de un sistema de alivio de presión apropiado para el proyecto del sistema de contención de combustible y para el combustible que se transporte. Los espacios de la bodega de almacenamiento de combustible, los espacios interbarreras, los espacios de las conexiones de los tanques y los coferdanes de los tanques, que puedan estar sometidos a presiones superiores a las de sus capacidades de proyecto, contarán asimismo con un sistema adecuado de alivio de presión. Los sistemas de control de la presión indicados en 6.9 serán independientes de los sistemas de alivio de presión.

6.7.1.2 Los tanques de almacenamiento de combustible que puedan estar sometidos a presiones externas superiores a su presión de proyecto estarán provistos de sistemas de protección por vacío.

### 6.7.2 Sistemas de alivio de presión para tanques de combustible de gas licuado

6.7.2.1 Si no puede descartarse la descarga de combustible al espacio de vacío de un tanque aislado por vacío, el espacio de vacío se protegerá con un dispositivo de alivio de presión que estará conectado a un sistema de respiración si los tanques están situados bajo cubierta. En una cubierta expuesta la Administración podrá aceptar una descarga directa a la atmósfera para los tanques que no sean mayores que un contenedor de 40 pies si el gas descargado no puede entrar en zonas seguras.

6.7.2.2 Los tanques de combustible de gas licuado irán provistos de al menos dos válvulas aliviadoras de presión, de forma que sea posible desconectar una de ellas en caso de avería o fuga.

6.7.2.3 Los espacios interbarreras irán provistos de dispositivos reductores de presión. Para los sistemas de membrana, el proyectista demostrará que el tamaño de las válvulas aliviadoras de presión de los espacios interbarreras es adecuado.

6.7.2.4 El valor de tarado de las válvulas aliviadoras de presión no será superior a la presión de vapor que se ha utilizado en el proyecto del tanque. Las válvulas que representen no más del 50 % de la capacidad total de alivio podrán ajustarse a una presión hasta un 5 % superior al MARVS a fin de permitir una izada secuencial, reduciendo al mínimo la liberación innecesaria de vapor.

6.7.2.5 A las válvulas aliviadoras de presión instaladas en los sistemas de alivio de presión les serán aplicables las siguientes reglas relativas a la temperatura:

- .1 las válvulas aliviadoras de presión de los tanques de combustible cuya temperatura de proyecto sea inferior a 0 °C se proyectarán y dispondrán de modo tal que la formación de hielo no las inutilice;
- .2 al construirse y disponerse las válvulas aliviadoras de presión, se tendrán en cuenta los efectos de la formación de hielo debida a las temperaturas ambiente;
- .3 las válvulas aliviadoras de presión se construirán con materiales con un punto de fusión superior a 925 °C. Se podrá admitir el empleo de materiales con un punto de fusión inferior para las piezas internas y las juntas siempre que no se vea comprometido el funcionamiento a prueba de fallos de las válvulas; y

- .4 a fin de evitar daños, los conductos de detección y escape de las válvulas aliviadoras de presión accionadas por válvulas auxiliares serán de una construcción suficientemente sólida.

6.7.2.6 En caso de fallo de una válvula aliviadora de presión instalada en un tanque de combustible, se dispondrá de un medio seguro de aislamiento de emergencia.

- .1 se facilitarán procedimientos, y éstos se incluirán en el manual de funcionamiento (véase el capítulo 18);
- .2 los procedimientos permitirán aislar solamente una de las válvulas aliviadoras de presión instaladas en los tanques de combustible de gas licuado; a tal efecto se instalarán dispositivos de enclavamiento; y
- .3 el aislamiento de la válvula aliviadora de presión se llevará a cabo bajo la supervisión del capitán. Esta operación se hará constar en el diario de navegación del buque y en la propia válvula.

6.7.2.7 Toda válvula aliviadora de presión instalada en un tanque de combustible de gas licuado irá conectada a un sistema de respiración, el cual estará:

- .1 construido de manera que la descarga se realice libremente y normalmente se dirija verticalmente hacia arriba;
- .2 dispuesto de manera que se reduzca al mínimo la posibilidad de que ingrese agua o nieve en su interior; y
- .3 dispuesto de manera que normalmente la altura de las salidas de respiración no sea inferior a  $B/3$  o 6 m, si ésta es mayor, por encima de la cubierta de intemperie y 6 m por encima de las zonas de trabajo y de las pasarelas. Sin embargo, los mástiles de respiración podrán limitarse a un valor inferior con arreglo a una consideración especial por parte de la Administración.

6.7.2.8 Normalmente, la salida de las válvulas aliviadoras de presión estará situada, como mínimo, a 10 m de:

- .1 la toma de aire, la salida de aire o la abertura más próximas a los espacios de alojamiento, de servicio y de control, u otra zona no potencialmente peligrosa; y
- .2 la salida de escape de las instalaciones de máquinas más próxima.

6.7.2.9 Todas las demás salidas de respiración del combustible de gas también se dispondrán de acuerdo con lo dispuesto en 6.7.2.7 y 6.7.2.8. Se instalarán medios para evitar el rebose de líquido de las salidas de respiración del gas debido a la presión hidrostática de los espacios a los cuales están conectadas.

6.7.2.10 En el sistema de tuberías de respiración se instalará un mecanismo para drenar el líquido de los lugares en los que pueda acumularse. Las válvulas aliviadoras de presión y las tuberías se dispondrán de modo que en ningún caso pueda acumularse líquido en las válvulas aliviadoras de presión o cerca de ellas.

6.7.2.11 En las salidas de respiración se instalarán rejillas protectoras adecuadas, de malla no mayor de 13 mm cuadrados, que eviten la entrada de objetos extraños sin obstaculizar el flujo.

6.7.2.12 Todas las tuberías de respiración se proyectarán y dispondrán de modo que no sufran daños por las variaciones de temperatura a las que puedan quedar sometidas ni por las fuerzas producidas por el flujo o por los movimientos del buque.

6.7.2.13 Las válvulas aliviadoras de presión se instalarán en la parte más alta del tanque de combustible. Las válvulas aliviadoras de presión se instalarán en el tanque de combustible de modo que, en el límite de llenado, queden en la fase de vapor, según se indica en 6.8, con una escora de 15° y un asiento de 0,015 L, siendo L la dimensión definida en 2.2.25.

### 6.7.3 Tamaño del sistema de alivio de presión

#### 6.7.3.1 Tamaño de las válvulas aliviadoras de presión

6.7.3.1.1 Las válvulas aliviadoras de presión tendrán una capacidad de alivio combinada que permitirá a cada tanque de combustible de gas licuado efectuar, sin que la presión del tanque aumente más de un 20 % por encima del MARVS, una descarga correspondiente al mayor de los valores siguientes:

- .1 la capacidad máxima del sistema de inertización de los tanques de combustible de gas licuado si la presión de servicio máxima que puede alcanzar dicho sistema supera el MARVS de dichos tanques; o
- .2 los vapores generados por la exposición al fuego, calculados con la siguiente fórmula:

$$Q = FGA^{0,82} \text{ (m}^3\text{/s),}$$

donde:

Q = régimen mínimo de descarga de aire prescrito en condiciones normales de 273,15 grados Kelvin (°K) y 0,1013 MPa;

F = factor de exposición al fuego de diferentes tipos de combustible de gas licuado:

F = 1,0 para tanques sin aislamiento situados en cubierta;

F = 0,5 para tanques situados por encima de la cubierta, cuando el aislamiento sea aprobado por la Administración. (La aprobación dependerá de la utilización de un material ignífugo, la termoconductancia del aislamiento y su estabilidad cuando se exponga al fuego);

F = 0,5 para tanques independientes no aislados instalados en bodegas;

F = 0,2 para tanques independientes aislados instalados en bodegas (o tanques independientes no aislados instalados en bodegas aisladas);

F = 0,1 para tanques independientes aislados instalados en bodegas inertizadas (o tanques independientes no aislados instalados en bodegas inertizadas y aisladas); y

F = 0,1 para tanques de membrana.

En el caso de tanques independientes que sobresalgan parcialmente a través de las cubiertas de intemperie, el factor de exposición al fuego se determinará tomando como base las áreas de superficie situadas por encima y por debajo de la cubierta.

G = factor de gas, con arreglo a la fórmula:

$$G = \frac{12,4}{LD} \sqrt{\frac{ZT}{M}}$$

donde:

T = temperatura en grados Kelvin durante la reducción de la presión, es decir, 120 % de la presión de tarado de la válvula aliviadora de presión;

L = calor latente del material que se evapora durante la reducción de la presión, en kJ/kg;

D = una constante basada en la relación de calores específicos (k) que se calcula de la siguiente manera:

$$D = \sqrt{k \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

donde:

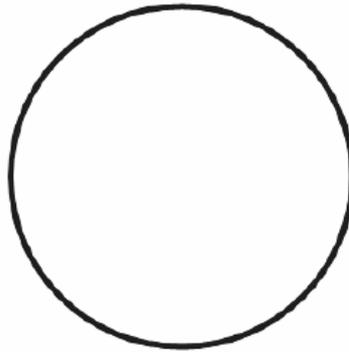
k = relación de calores específicos durante la reducción de la presión, cuyo valor se sitúa entre 1,0 y 2,2. Si se desconoce el valor de k, se considerará que D = 0,606;

Z = factor de compresibilidad del gas durante la reducción de la presión. Si se desconoce su valor, se considerará que Z = 1,0;

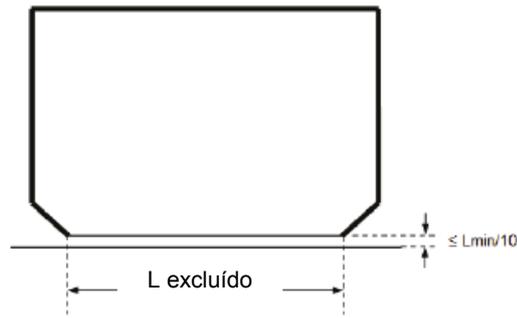
M = masa molecular del producto.

Se determinará el factor gaseoso de cada combustible de gas licuado que ha de transportarse y se utilizará el valor más alto a los efectos de determinar el tamaño de las válvulas aliviadoras de presión.

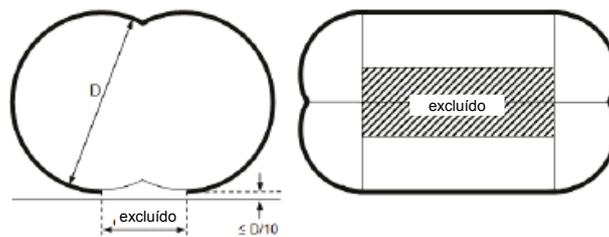
A = área de la superficie externa del tanque ( $m^2$ ), para distintos tipos de tanque, tal como se muestra en la figura 6.7.1.



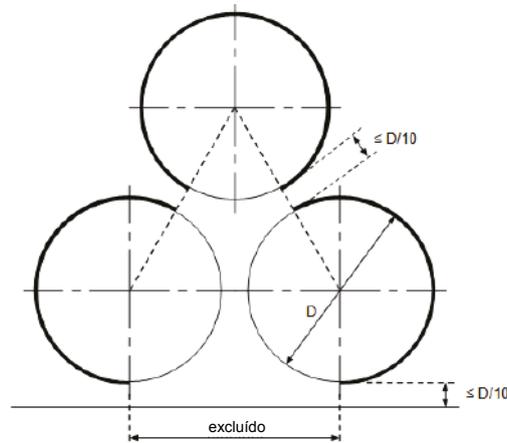
Tanques cilíndricos con cabezas cóncavas de forma esférica, semiesférica o semi-elipsoidal o tanques esféricos



Tanques prismáticos



Tanques bilobulares



Disposición horizontal de tanques cilíndricos

Figura 6.7.1

6.7.3.1.2 Cuando se trate de tanques aislados por vacío en espacios de bodega de almacenamiento del combustible y de tanques en espacios de bodega de almacenamiento del combustible separados de cargas de incendio potenciales mediante coferdanes o rodeados de espacios en que no haya cargas de incendio, se aplicará lo siguiente:

Si las válvulas aliviadoras de presión tienen que dimensionarse en función de las cargas de incendio, los factores de exposición al fuego correspondientes se podrán reducir aplicando los siguientes valores:

$$F = 0,5 \text{ hasta } F = 0,25$$

$$F = 0,2 \text{ hasta } F = 0,1$$

El factor de exposición al fuego mínimo es  $F = 0,1$

6.7.3.1.3 El flujo másico de aire necesario durante la reducción de la presión está dado por la fórmula:

$$M_{\text{aire}} = Q * \rho_{\text{aire}} \text{ (kg/s)}$$

donde la densidad del aire ( $\rho_{\text{aire}}$ ) = 1,293 kg/m<sup>3</sup> (aire a 273,15 °K, 0,1013 MPa).

#### 6.7.3.2 Determinación de las dimensiones del sistema de tuberías de respiración

6.7.3.2.1 Cuando se determine el tamaño de las válvulas aliviadoras de presión a fin de garantizar la capacidad de flujo prescrita en 6.7.3.1 se tendrán en cuenta las pérdidas de presión que ocurran circuito arriba y circuito abajo de las válvulas.

#### 6.7.3.2.2 Pérdidas de presión circuito arriba

- .1 la caída de presión en el conducto de respiración que va desde el tanque hasta la entrada de la válvula aliviadora de presión no excederá del 3 % de la presión de tarado de la válvula al caudal calculado, de conformidad con lo estipulado en 6.7.3.1;

- .2 las válvulas aliviadoras de presión accionadas por válvulas auxiliares no deberán verse afectadas por pérdidas de presión en la tubería de entrada cuando la válvula auxiliar reaccione directamente desde la bóveda del tanque; y
- .3 para las válvulas auxiliares de flujo se tomarán en consideración las pérdidas de presión en las tuberías auxiliares controladas a distancia.

#### 6.7.3.2.3 Pérdidas de presión circuito abajo

- .1 Cuando se hayan instalado colectores y mástiles de respiración comunes, los cálculos habrán de incluir el flujo proveniente de todas las válvulas aliviadoras de presión conectadas.
- .2 La contrapresión acumulada en la tubería de respiración que va desde la salida de la válvula aliviadora de presión hasta el sitio de descarga a la atmósfera, incluidas todas las interconexiones de las tuberías de respiración que unen otros tanques, no excederá los siguientes valores:
  - .1 para válvulas aliviadoras de presión no equilibradas: 10 % del MARVS;
  - .2 para válvulas aliviadoras de presión equilibradas: 30 % del MARVS; y
  - .3 para válvulas aliviadoras de presión accionadas por válvulas auxiliares: 50 % del MARVS.

Podrán aceptarse otros valores proporcionados por el fabricante de las válvulas aliviadoras de presión.

6.7.3.2.4 A los fines de garantizar un funcionamiento estable de las válvulas aliviadoras de presión, la purga no será inferior a la suma de la pérdida de presión de entrada y 0,02 del valor del MARVS a la capacidad nominal.

### 6.8 Reglas aplicables al límite de carga de los tanques de combustible de gas licuado

6.8.1 Los tanques de almacenamiento de gas licuado no se llenarán a más de un volumen equivalente al 98 % de su capacidad a la temperatura de referencia definida en el párrafo 2.2.36.

Utilizando la siguiente fórmula se puede obtener una curva de los límites de carga correspondiente a las temperaturas de carga reales del combustible:

$$LL = FL \rho_R / \rho_L$$

donde:

LL = límite de carga, como se define en el párrafo 2.2.27, expresado porcentualmente

FL = límite de llenado, como se define en el párrafo 2.2.16, expresado porcentualmente, en este caso, 98 %;

$\rho_R$  = densidad relativa del combustible a la temperatura de referencia; y

$\rho_L$  = densidad relativa del combustible a la temperatura de carga.

6.8.2 En los casos en los que, debido al aislamiento y a la ubicación del tanque, la probabilidad de que el contenido del tanque se caliente como consecuencia de un incendio externo sea insignificante, se podrán tomar medidas especiales para permitir un límite de carga superior al calculado utilizando la temperatura de referencia, pero nunca por encima del 95 %. Esta medida sería igualmente válida en caso de instalarse un segundo sistema para el mantenimiento de la presión (véase 6.9). Sin embargo, si la presión sólo se puede mantener/controlar con los dispositivos de consumo de combustible, deberá utilizarse el límite de llenado que se calcula según lo dispuesto en 6.8.1.

## **6.9 Reglas aplicables al mantenimiento de la condición de almacenamiento del combustible**

### **6.9.1 Control de la presión y temperatura de los tanques**

6.9.1.1 A excepción de los tanques de combustible de gas licuado proyectados para resistir la presión manométrica total del vapor del combustible en las condiciones correspondientes a las temperaturas ambiente de proyecto superiores, la presión y la temperatura de los tanques de combustible de gas licuado se mantendrán en todo momento dentro de sus límites de proyecto utilizando medios aceptables a juicio de la Administración, por ejemplo, alguno de los siguientes métodos:

- .1 relicuefacción de vapores;
- .2 oxidación térmica de vapores;
- .3 acumulación de presión; o
- .4 enfriamiento del combustible de gas licuado.

El método escogido permitirá que se mantenga la presión de los tanques por debajo de la presión de tarado de las válvulas aliviadoras de presión del tanque durante un periodo de 15 días, suponiendo que el tanque está lleno a la presión normal de servicio y que el buque está en reposo, es decir, que sólo se genera potencia para el consumo del buque.

6.9.1.2 No es aceptable ventilar el vapor del combustible para controlar la presión de los tanques, salvo en situaciones de emergencia.

### **6.9.2 Proyecto de los sistemas**

6.9.2.1 Para el servicio a escala mundial, la temperatura ambiente superior de proyecto será de 32 °C para el mar y de 45 °C para el aire. Para el servicio en zonas especialmente frías o cálidas, se utilizarán temperaturas de proyecto superiores o inferiores, a discreción de la Administración.

6.9.2.2 La capacidad total del sistema será tal que éste pueda controlar la presión en las condiciones de proyecto sin respiración a la atmósfera.

### **6.9.3 Sistemas de relicuefacción**

6.9.3.1 El sistema de relicuefacción se proyectará y calculará de acuerdo con lo dispuesto en 6.9.3.2. El sistema deberá dimensionarse debidamente para las circunstancias en que el consumo sea nulo o bajo.

6.9.3.2 El sistema de relicuefacción estará dispuesto de una de las siguientes formas:

- .1 un sistema directo, en el que el combustible evaporado se comprima, se condense y se devuelva a los tanques de combustible;
- .2 un sistema indirecto, en el que el combustible o el combustible evaporado se enfríe o condense por medio de un refrigerante, sin experimentar compresión;
- .3 un sistema combinado, en el que el combustible evaporado se comprima y condense en un intercambiador de calor del combustible/refrigerante y se devuelva a los tanques de combustible; o
- .4 si durante las operaciones de control de presión en las condiciones de proyecto el sistema de relicuefacción produce un flujo residual que contenga metano, estos gases residuales se eliminarán sin respiración a la atmósfera, en la medida en que ello sea razonablemente posible.

#### **6.9.4 Sistemas de oxidación térmica**

6.9.4.1 La oxidación térmica puede efectuarse mediante el consumo de los vapores, de conformidad con las reglas aplicables a los dispositivos de consumo descritos en este código, o en una unidad de combustión de gas dedicada a ello. Se deberá demostrar que la capacidad del sistema de oxidación es suficiente para consumir la cantidad requerida de vapores. En cuanto a este particular, deberá considerarse la posibilidad de navegar lentamente durante ciertos periodos y/o de suspender temporalmente el consumo para la propulsión u otros servicios del buque.

#### **6.9.5 Compatibilidad**

6.9.5.1 Los refrigerantes o los agentes auxiliares utilizados para la refrigeración o el enfriamiento del combustible deberán ser compatibles con el combustible con el que puedan entrar en contacto (sin causar reacciones potencialmente peligrosas ni generar productos excesivamente corrosivos). Además, cuando se utilicen varios refrigerantes o sustancias, éstos deberán ser compatibles entre sí.

#### **6.9.6 Disponibilidad de sistemas**

6.9.6.1 La disponibilidad del sistema y de sus servicios auxiliares de apoyo deberá ser tal que, en caso de un fallo aislado (de un componente mecánico no estático o de un componente de los sistemas de control), la presión y la temperatura de los tanques de combustible puedan mantenerse recurriendo a otro servicio/sistema.

6.9.6.2 Los intercambiadores de calor que sólo resulten necesarios para mantener la presión y la temperatura de los tanques de combustible dentro de sus límites de proyecto contarán con un intercambiador de calor de reserva, a menos que posean una capacidad un 25 % superior a la mayor capacidad necesaria para controlar la presión y que se puedan reparar a bordo sin recursos externos.

#### **6.10 Reglas aplicables al control de la atmósfera en el interior del sistema de contención de combustible**

6.10.1 Se instalará un sistema de tuberías que permita desgasificar sin riesgos cada uno de los tanques de combustible y llenarlos de manera segura con combustible cuando estén desgasificados. La disposición del sistema será tal que la posibilidad de que queden bolsas de gas o de aire después del cambio de atmósfera sea mínima.

6.10.2 El sistema estará proyectado de modo que permita eliminar cualquier posibilidad de que en el tanque de combustible haya una mezcla inflamable en cualquier fase de la operación de cambio de atmósfera, utilizando un agente inertizador como etapa intermedia.

6.10.3 Se dispondrán puntos de muestreo de gas para cada tanque de combustible a los efectos de vigilar la evolución del cambio de atmósfera.

6.10.4 El gas inerte utilizado para desgasificar los tanques de combustible se podrá suministrar al buque externamente.

#### **6.11 Reglas aplicables al control de la atmósfera en el interior de los espacios de bodega de almacenamiento de combustible (sistemas de contención de combustible que no sean tanques independientes de tipo C)**

6.11.1 Los espacios interbarreras y los espacios de bodega de almacenamiento de combustible relacionados con los sistemas de contención de combustible de gas licuado que requieran barreras secundarias completas o parciales se inertizarán con un gas inerte seco y adecuado y se mantendrán en ese estado con gas de relleno suministrado por un sistema generador de gas inerte instalado a bordo, o tomado de las reservas del buque, que será suficiente para un consumo normal de al menos 30 días. La Administración podrá considerar la aplicación de periodos más cortos, lo cual dependerá del servicio que preste el buque.

6.11.2 En su defecto, los espacios mencionados en 6.11.1, que requieren sólo una barrera secundaria parcial, se podrán llenar con aire seco a condición de que el buque mantenga almacenada una reserva de gas inerte o esté provisto de un sistema generador de gas inerte suficiente para inertizar el mayor de dichos espacios, y a condición de que la configuración de los espacios y los correspondientes sistemas detectores de vapores, junto con la capacidad de los medios de inertización provistos, garanticen que toda fuga de los tanques de combustible de gas licuado se detecte rápidamente y que la inertización se efectúe antes de que surja una situación de peligro. Se instalará un equipo que abastezca de aire seco en cantidad suficiente y de calidad apropiada para satisfacer la demanda prevista.

#### **6.12 Reglas aplicables al control ambiental de los espacios que rodean a los tanques independientes de tipo C**

6.12.1 Los espacios que rodean a los tanques de combustible de gas licuado se llenarán de aire seco adecuado y se mantendrán en este estado con aire seco suministrado por un equipo deshumidificador de aire apropiado. Esta medida sólo se aplicará en el caso de los tanques de combustible de gas licuado en los que la formación de condensación y de hielo debido al frío de las superficies sea un problema.

#### **6.13 Reglas aplicables a la inertización**

6.13.1 Se proveerán medios para evitar el reflujos de vapor del combustible hacia el sistema de gas inerte, como se especifica más abajo.

6.13.2 Para evitar el reflujo de gas inflamable hacia espacios no potencialmente peligrosos, la tubería de suministro de gas inerte estará dotada de dos válvulas de cierre en serie con una válvula de respiración intercalada entre ambas (válvulas de doble bloqueo y purga). Además, se instalará una válvula de retención que pueda cerrarse entre los medios de doble bloqueo y purga y el sistema de combustible. Estas válvulas deberán estar situadas fuera de los espacios no potencialmente peligrosos.

6.13.3 Cuando las conexiones a los sistemas de tuberías de combustible no sean permanentes, las dos válvulas de retención podrán sustituirse por las válvulas prescritas en 6.13.2

6.13.4 Se dispondrá lo necesario para que cada espacio que se esté inertizando pueda quedar aislado, y se instalarán los mandos, las válvulas de alivio, etc., necesarios para controlar la presión en esos espacios.

6.13.5 Cuando a los espacios de aislamiento se les suministre de manera continua un gas inerte como parte de un sistema de detección de fugas, se proveerán los medios apropiados para vigilar la cantidad de gas que se está suministrando a cada espacio.

#### **6.14 Reglas aplicables a la producción y el almacenamiento de gas inerte a bordo**

6.14.1 El equipo podrá producir gas inerte con un contenido de oxígeno que en ningún momento supere el 5 % en volumen. Al equipo que suministre el gas inerte se le instalará un indicador del contenido de oxígeno de lectura continua, provisto de una alarma programada para un valor máximo del 5 % del contenido de oxígeno en volumen.

6.14.2 Todo sistema de gas inerte irá provisto de mandos reguladores de presión y medios de vigilancia apropiados para el sistema de contención de combustible.

6.14.3 Cuando se instale un generador de nitrógeno o medios de almacenamiento de nitrógeno en un compartimiento separado fuera de la sala de máquinas, el compartimiento estará equipado con un sistema de ventilación de extracción mecánica independiente con una capacidad mínima de seis renovaciones de aire por hora. Se instalará una alarma de nivel bajo de oxígeno.

6.14.4 Las tuberías de nitrógeno sólo se tenderán a través de espacios bien ventilados. Si se encuentran en espacios cerrados:

- estarán totalmente soldadas;
- tendrán solamente el mínimo de acoplamientos de brida necesarios para la instalación de válvulas; y
- serán lo más cortas posible.

### **7 PROYECTO GENERAL DE TUBERÍAS Y DE MATERIALES**

#### **7.1 Objetivo**

7.1.1 El objetivo de este capítulo es garantizar la seguridad de la manipulación del combustible en todas las condiciones de funcionamiento a fin de reducir al mínimo los riesgos para el buque, el personal y el medio ambiente, teniendo en cuenta la naturaleza de los productos transportados.

## 7.2 Prescripciones funcionales

7.2.1 Este capítulo abarca las prescripciones funcionales que figuran en 3.2.1, 3.2.5, 3.2.6, 3.2.8, 3.2.9 y 3.2.10. En particular se aplicará lo siguiente:

7.2.1.1 Las tuberías de combustible serán capaces de absorber la expansión o la contracción térmicas causadas por temperaturas extremas del combustible sin sufrir esfuerzos considerables.

7.2.1.2 Se tomarán medidas para proteger las tuberías, el sistema de tuberías y sus componentes y los tanques de combustible de esfuerzos excesivos como consecuencia de las fluctuaciones térmicas y de los movimientos de los tanques de combustible y la estructura del casco.

7.2.1.3 Si el combustible de gas contiene componentes más pesados que se puedan condensar en el sistema, se instalarán medios para extraer el líquido de manera segura.

7.2.1.4 Cuando sea necesario, las tuberías de baja temperatura estarán aisladas térmicamente de la estructura del casco adyacente a fin de evitar que la temperatura del casco descienda por debajo de la temperatura de proyecto del material del casco.

## 7.3 Reglas aplicables al proyecto general de tuberías

### 7.3.1 Generalidades

7.3.1.1 Las tuberías de combustible y todas las tuberías necesarias para el funcionamiento y el mantenimiento seguros y fiables estarán pintadas de los colores de identificación estipulados en una norma equivalente como mínimo las normas aceptables a juicio de la Organización.

7.3.1.2 Cuando los tanques o las tuberías estén separados de la estructura del buque por aislamiento térmico, se dispondrán medios para la conexión a masa de las tuberías y los tanques en la estructura del buque. Todas las juntas de estanquidad de las tuberías y las conexiones de los conductos flexibles estarán conectadas a masa.

7.3.1.3 Todas las tuberías o componentes que puedan aislarse cuando estén llenas de líquido estarán provistas de válvulas de alivio.

7.3.1.4 Las tuberías que puedan contener combustible a baja temperatura se aislarán térmicamente hasta un punto en que se reduzca al mínimo la condensación de humedad.

7.3.1.5 Las tuberías que no sean de suministro de combustible y el cableado se podrán tender en tuberías o conductos de doble pared siempre que no creen una fuente de ignición ni comprometan la integridad de la tubería o conducto doble. Las tuberías o conductos de doble pared sólo contendrán las tuberías o los cables necesarios para fines operacionales.

### 7.3.2 *Espesor de pared*

7.3.2.1 El espesor de pared mínimo se calculará de la siguiente manera:

$$t = (t_o + b + c) / (1 - a/100) \text{ (mm)}$$

donde:

$t_o$  = espesor teórico

$$t_o = PD / (2,0Ke + P) \text{ (mm)},$$

siendo:

$P$  = presión de proyecto (MPa) citada en 7.3.3;

$D$  = diámetro exterior (mm);

$K$  = esfuerzo admisible (N/mm<sup>2</sup>) citado en 7.3.4; y

$e$  = coeficiente de eficacia, igual a 1,0 para los tubos sin costura y para los que vayan soldados longitudinalmente o en espiral, entregados por fabricantes aprobados de tubos soldados, que se consideren equivalentes a los tubos sin costura cuando se lleven a cabo pruebas no destructivas de las soldaduras de conformidad con normas reconocidas. En otros casos, podrá exigirse un coeficiente de eficacia inferior a 1,0 de conformidad con las normas reconocidas, según el proceso de fabricación;

$b$  = tolerancia de curvatura (mm). El valor de  $b$  se elegirá de modo que el esfuerzo calculado en la curva, debido solamente a la presión interior, no exceda del esfuerzo admisible. Cuando no se dé esta justificación, el valor de  $b$  será:

$$b = Dt_o / 2,5r \text{ (mm)},$$

siendo:

$r$  = radio medio de la curva (mm);

$c$  = tolerancia de corrosión (mm). Si se prevé corrosión o erosión, se incrementará el espesor de pared de la tubería de modo que sea superior al prescrito por otras reglas de proyecto. Esta tolerancia se adecuará a la vida útil prevista de la tubería; y

$a$  = Tolerancia negativa de fabricación para el espesor (%).

7.3.2.2 El espesor de pared mínimo absoluto se ajustará a lo establecido en una norma aceptable a juicio de la Administración.

### 7.3.3 Condición de proyecto

7.3.3.1 En el proyecto de las tuberías, los sistemas de tuberías y sus componentes se utilizará la más estricta de las siguientes condiciones de proyecto, según corresponda:

- .1 en los sistemas o componentes que puedan quedar separados de sus válvulas aliviadoras de presión y que en todo momento solamente contengan vapor, una presión de vapor a 45 °C, suponiendo una condición inicial en la que haya vapor saturado en el sistema a la presión y temperatura de funcionamiento del sistema; o
- .2 el MARVS de los tanques de combustible y de los sistemas de procesamiento de combustible; o
- .3 el tarado de la válvula aliviadora de presión de la bomba o del compresor correspondiente; o
- .4 la presión total máxima del sistema de tuberías del combustible, al descargar o al cargar; o
- .5 el tarado de la válvula aliviadora de presión del sistema de tuberías.

7.3.3.2 Las tuberías, los sistemas de tuberías y sus componentes tendrán una presión de proyecto mínima de 1,0 MPa, salvo si se trata de tuberías de extremos abiertos, en las que no será inferior a 0,5 MPa.

### 7.3.4 Esfuerzo admisible

7.3.4.1 Cuando se trate de tuberías de acero, incluidas las de acero inoxidable, el esfuerzo admisible que se tendrá en cuenta en la fórmula del espesor de resistencia citada en 7.3.2.1 será el menor de los valores siguientes:

$$R_m/2,7 \text{ o } R_e/1,8$$

donde:

$R_m$  = resistencia mínima especificada a la tracción, a temperatura ambiente (N/mm<sup>2</sup>); y

$R_e$  = límite elástico mínimo especificado a la temperatura ambiente (N/mm<sup>2</sup>). Si la curva de esfuerzos-deformaciones no muestra un límite elástico definido, se aplicará un límite del 0,2 %.

7.3.4.2 Cuando sea necesario aumentar la resistencia mecánica para evitar una avería, el desplome, un combado excesivo o el pandeo de los tubos como consecuencia de cargas superpuestas, el espesor de la pared se aumentará más de lo establecido en 7.3.2 o, si esto no es factible o pudiera generar esfuerzos locales excesivos, otros métodos de proyecto permitirán reducir estas cargas, protegerse contra ellas o eliminarlas. Dichas cargas superpuestas pueden deberse a los soportes, las flexiones del buque, los saltos de presión del líquido durante las operaciones de trasvase, el peso de las válvulas suspendidas, la reacción a las conexiones de los brazos de carga o cualquier otro factor.

7.3.4.3 Cuando se trate de tuberías que no sean de acero, la Administración tendrá en cuenta el esfuerzo admisible.

7.3.4.4 Los sistemas de tuberías de combustible de alta presión tendrán la suficiente resistencia de construcción, lo cual se confirmará mediante análisis de esfuerzos y teniendo en cuenta:

- .1 los esfuerzos debidos al peso del sistema de tuberías;
- .2 las cargas de aceleración, si son considerables; y
- .3 la presión interna y las cargas inducidas por el quebranto y el arrufo del buque.

7.3.4.5 Cuando la temperatura de proyecto sea igual o inferior a  $-110\text{ °C}$ , se hará un análisis completo de los esfuerzos a los que está sometido cada ramal del sistema de tuberías teniendo en cuenta todos los esfuerzos debidos al peso de las tuberías, incluidas las cargas de aceleración, si son considerables, la presión interna, la contracción térmica y las cargas inducidas por el quebranto y el arrufo del buque.

### **7.3.5 Flexibilidad de las tuberías**

7.3.5.1 La disposición y la instalación de las tuberías de combustible aportarán la necesaria flexibilidad para mantener la integridad del sistema de tuberías en las situaciones reales de servicio, teniendo en cuenta la fatiga potencial.

### **7.3.6 Fabricación de las tuberías y detalles de las uniones**

7.3.6.1 Las bridas, las válvulas y demás accesorios se ajustarán a una norma aceptable a juicio de la Administración, teniendo en cuenta la presión de proyecto definida en 7.3.3.1. En el caso de los fuelles de las tuberías y las juntas de dilatación que se utilizan con vapor se podrá aceptar una presión de proyecto mínima inferior a la que se indica en 7.3.3.1.

7.3.6.2 Todas las válvulas y juntas de dilatación utilizadas en los sistemas de tuberías de combustible de alta presión se aprobarán con arreglo a una norma aceptable a juicio de la Administración.

7.3.6.3 Las tuberías del sistema estarán soldadas, con un mínimo de acoplamientos por bridas. Las juntas estarán protegidas contra reventones.

7.3.6.4 La fabricación de las tuberías y los detalles de sus uniones cumplirán lo siguiente:

#### **7.3.6.4.1 Uniones directas**

- .1 En todas las aplicaciones se podrán utilizar juntas soldadas a tope con penetración total en la raíz. Para temperaturas de proyecto inferiores a  $-10\text{ °C}$ , las soldaduras a tope serán dobles o equivalentes a una junta a tope con doble soldadura. Esto podrá lograrse con un anillo cubrejuntas interno, una inserción consumible o con gas inerte de respaldo en la primera pasada. Para presiones de proyecto superiores a  $1,0\text{ MPa}$  y temperaturas de proyecto iguales o inferiores a  $-10\text{ °C}$  habrá que retirar los anillos cubrejuntas internos.

- .2 Las juntas deslizantes soldadas con manguitos y la correspondiente soldadura, cuyas dimensiones se ajusten a normas reconocidas, solamente se utilizarán en tuberías de instrumentos y en tuberías de extremos abiertos de diámetro exterior igual o inferior a 50 mm y con temperaturas de proyecto que no sean inferiores a -55 °C.
- .3 Solamente se utilizarán acoplamientos roscados que cumplan normas reconocidas en tuberías auxiliares y en tuberías de instrumentos de diámetro exterior igual o inferior a 25 mm.

#### 7.3.6.4.2 Uniones embridadas

- .1 Las bridas de las uniones embridadas serán de collar soldado, deslizantes o de acoplamiento soldado; y
- .2 Para todas las tuberías, salvo las de extremos abiertos, se aplicarán las siguientes restricciones:
  - .1 con temperaturas de proyecto inferiores a -55 °C solamente se utilizarán bridas de collar soldado; y
  - .2 con temperaturas de proyecto inferiores a -10 °C no se utilizarán bridas deslizantes en tamaños nominales superiores a 100 mm, y las bridas de acoplamiento soldado no se utilizarán en tamaños nominales superiores a 50 mm.

#### 7.3.6.4.3 Juntas de dilatación

Cuando se dispongan fuelles y juntas de dilatación de conformidad con lo dispuesto en 7.3.6.1 se aplicará lo siguiente:

- .1 de ser necesario, se protegerán los fuelles para evitar la formación de hielo;
- .2 no se utilizarán juntas deslizantes, salvo dentro de los tanques de almacenamiento de combustible de gas licuado; y
- .3 normalmente, no se instalarán fuelles en espacios cerrados.

#### 7.3.6.4.4 Otras uniones

Las tuberías se unirán de conformidad con lo prescrito en 7.3.6.4.1 a 7.6.3.4.3, aunque en caso excepcionales la Administración podrá considerar la posibilidad de emplear otros medios.

## 7.4 Reglas aplicables a los materiales

### 7.4.1 Materiales metálicos

7.4.1.1 Los materiales para los sistemas de contención de combustible y los sistemas de tuberías cumplirán las reglas mínimas que figuran en los siguientes cuadros:

- Cuadro 7.1: Planchas, tubos (sin costura y soldados), secciones y piezas forjadas de tanques de combustible y recipientes de elaboración a presión para temperaturas de proyecto no inferiores a 0 °C.

- Cuadro 7.2: Planchas, secciones y piezas forjadas de tanques de combustible, barreras secundarias y recipientes de elaboración a presión para temperaturas de proyecto por debajo de 0 °C y hasta -55 °C.
- Cuadro 7.3: Planchas, secciones y piezas forjadas de tanques de combustible, barreras secundarias y recipientes de elaboración a presión para temperaturas de proyecto por debajo de -55 °C y hasta -165 °C.
- Cuadro 7.4: Tubos (sin costura y soldados), piezas forjadas y de fundición para tuberías de combustible y de procesos de elaboración para temperaturas de proyecto por debajo de 0 °C y hasta -165 °C.
- Cuadro 7.5: Planchas y secciones de las estructuras del casco prescritas en 6.4.13.1.1.2.

Cuadro 7.1

| PLANCHAS, TUBOS (SIN COSTURA Y SOLDADOS), <sup>1,2</sup> SECCIONES Y PIEZAS FORJADAS DE TANQUES DE COMBUSTIBLE Y RECIPIENTES DE ELABORACIÓN A PRESIÓN PARA TEMPERATURAS DE PROYECTO NO INFERIORES A 0 °C |  |                            |
|--|--|----------------------------|
| <b>COMPOSICIÓN QUÍMICA Y TERMOTRATAMIENTO</b>  |  |                            |
| ◆ Acero al carbonomanganeso  |  |                            |
| ◆ Acero de grano fino, calmado   |  |                            |
| ◆ Pequeñas adiciones de elementos de aleación con el acuerdo de la Administración  |  |                            |
| ◆ Los límites de composición deben ser aprobados por la Administración   |  |                            |
| ◆ Normalizado, o templado y revenido <sup>4</sup>  |  |                            |
| <b>PRESCRIPCIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS (AL CHOQUE) DE TRACCIÓN Y RESISTENCIA</b>  |  |                            |
| Frecuencia de muestreo   |  |                            |
| ◆ Planchas   | Se someterá a prueba cada "pieza"  |                            |
| ◆ Secciones y piezas forjadas  | Se someterá a prueba cada "lote"   |                            |
| Propiedades mecánicas  |  |                            |
| ◆ Propiedades de tracción  | El límite elástico mínimo especificado no excederá de 410 N/mm <sup>2, 5</sup>   |                            |
| Resistencia (prueba con entalla Charpy en V)   |  |                            |
| ◆ Planchas   | Piezas de pruebas transversales. Valores de energía media mínima (KV) 27 J   |                            |
| ◆ Secciones y piezas forjadas  | Piezas de pruebas longitudinales. Energía media mínima (KV) 41 J   |                            |
| ◆ Temperatura de prueba  | Espesor t (mm)   | Temperatura de prueba (°C) |
|  | t < 20   | 0                          |
|  | 20 < t < 40 <sup>3</sup>   | -20                        |
| <b>Notas:</b>  |  |                            |
| 1  | Para los tubos y accesorios sin costura se aplican las prácticas normales. La utilización de tubos soldados longitudinalmente y en espiral será objeto de aprobación especial por parte de la Administración.  |                            |
| 2  | Para los tubos no es necesario realizar pruebas al choque con entalla Charpy en V.   |                            |
| 3  | Este cuadro normalmente es aplicable a los materiales de hasta 40 mm de espesor. Las propuestas relativas a mayores espesores serán aprobadas por la Administración.   |                            |
| 4  | Como alternativa, se podrá utilizar un proceso de laminación controlada o un procedimiento termomecánico controlado (TMCP).  |                            |
| 5  | La Administración podrá aprobar materiales con un límite elástico mínimo especificado que exceda de 410 N/mm <sup>2</sup> . Por lo que se refiere a estos materiales, se deberá prestar especial atención a la dureza de los puntos soldados y afectados térmicamente. |                            |

Cuadro 7.2

| PLANCHAS, SECCIONES Y PIEZAS FORJADAS <sup>1</sup> DE TANQUES DE COMBUSTIBLE, BARRERAS SECUNDARIAS Y RECIPIENTES DE ELABORACIÓN A PRESIÓN PARA TEMPERATURAS DE PROYECTO POR DEBAJO DE 0 °C Y HASTA -55 °C  |   |  |              |              |
|--|---|--|--------------|--------------|
| Espesor máximo de 25 mm <sup>2</sup>   |   |  |              |              |
| COMPOSICIÓN QUÍMICA Y TERMOTRATAMIENTO   |   |  |              |              |
| ◆ Acero al carbonomanganeso  |   |  |              |              |
| ◆ Acero de grano fino tratado con aluminio, calmado  |   |  |              |              |
| ◆ Composición química (análisis en la cuchara)   |   |  |              |              |
| C  | Mn  | Si   | S            | P            |
| 0,16 % máx. <sup>3</sup>   | 0,7-1,60 %  | 0,10-0,50 %  | 0,025 % máx. | 0,025 % máx. |
| Adiciones opcionales: normalmente, tanto las aleaciones como los elementos de afinamiento del grano se ajustarán a las siguientes pautas:  |   |  |              |              |
| Ni   | Cr  | Mo   | Cu           | Nb           |
| 0,80 % máx.  | 0,25 % máx.   | 0,08 % máx.  | 0,35 % máx.  | 0,05 % máx.  |
| V  |   |  |              |              |
| 0,10 % máx.  |   |  |              |              |
| Contenido total de aluminio 0,02 % mín. (soluble en ácido 0,015 % mín.)  |   |  |              |              |
| ◆ Normalizado, o templado y revenido <sup>4</sup>  |   |  |              |              |
| PRESCRIPCIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS (AL CHOQUE) DE TRACCIÓN Y RESISTENCIA   |   |  |              |              |
| Frecuencia de muestreo   |   |  |              |              |
| ◆ Planchas   |   | Se someterá a prueba cada "pieza"  |              |              |
| ◆ Secciones y piezas forjadas  |   | Se someterá a prueba cada "lote"   |              |              |
| Propiedades mecánicas  |   |  |              |              |
| ◆ Propiedades de tracción  |   | El límite elástico mínimo especificado no excederá de 410 N/mm <sup>2, 5</sup> |              |              |
| Resistencia (prueba con entalla Charpy en V)   |   |  |              |              |
| ◆ Planchas   |   | Piezas de pruebas transversales. Valores de energía media mínima (KV) 27 J     |              |              |
| ◆ Secciones y piezas forjadas  |   | Piezas de pruebas longitudinales. Energía media mínima (KV) 41 J               |              |              |
| ◆ Temperatura de prueba  |   | 5 °C por debajo de la temperatura de proyecto<br>o -20 °C, si ésta es inferior |              |              |
| <b>Notas:</b>  |   |  |              |              |
| 1  | La Administración podrá considerar de manera especial las entallas Charpy en V y las reglas químicas relativas a las piezas forjadas. |  |              |              |
| 2  | Respecto de los materiales de más de 25 mm de espesor, se llevarán a cabo pruebas de entalla Charpy en V, de la siguiente manera:     |  |              |              |
| Espesor del material (mm)  |   | Temperatura de la prueba (°C)  |              |              |
| 25 < t ≤ 30  |   | 10 °C por debajo de la temperatura de proyecto o -20 °C, si ésta es inferior   |              |              |
| 30 < t ≤ 35  |   | 15 °C por debajo de la temperatura de proyecto o -20 °C, si ésta es inferior   |              |              |
| 35 < t ≤ 40  |   | 20 °C por debajo de la temperatura de proyecto                                 |              |              |
| 40 < t   |   | Temperatura aprobada por la Administración                                     |              |              |
| El valor de la energía de los choques se ajustará al cuadro correspondiente al tipo aplicable de muestra de prueba. Los materiales para tanques y piezas de tanques que están completamente aliviados de esfuerzos térmicos después de la soldadura podrán ser sometidos a pruebas a una temperatura de 5 °C por debajo de la temperatura de proyecto o de -20 °C, si ésta es inferior. Para los refuerzos y demás accesorios aliviados de esfuerzos térmicos, la temperatura de prueba será la misma que la prescrita para el espesor del forro del tanque adyacente. |   |  |              |              |

- 3 Mediante un acuerdo especial con la Administración, el contenido de carbono podrá incrementarse hasta un máximo de 0,18 %, siempre que la temperatura de proyecto no sea inferior a -40 °C.
- 4 Como alternativa, se podrá utilizar un proceso de laminación controlado o un procedimiento termomecánico controlado (TMCP).
- 5 La Administración podrá aprobar materiales con un límite elástico mínimo especificado que exceda de 410 N/mm<sup>2</sup>. Respecto de tales materiales, se prestará especial atención a la dureza de las áreas soldadas y afectadas térmicamente.

Orientaciones:

Para los materiales con un espesor que exceda de 25 mm respecto de los cuales la temperatura de prueba es de -60 °C o inferior, podrá ser necesario aplicar aceros especialmente tratados o aceros que se ajusten a lo dispuesto en el cuadro 7.3.

Cuadro 7.3

| <b>PLANCHAS, SECCIONES Y PIEZAS FORJADAS<sup>1</sup> DE TANQUES DE COMBUSTIBLE, BARRERAS SECUNDARIAS Y RECIPIENTES DE ELABORACIÓN A PRESIÓN PARA TEMPERATURAS DE PROYECTO POR DEBAJO DE -55 °C Y HASTA -165 °C<sup>2</sup></b><br><b>Espesor máximo de 25 mm<sup>3,4</sup></b> |  |   |                            |             |  |             |  |             |  |  |
|--|--|---|----------------------------|-------------|--|-------------|--|-------------|--|--|
| Temperatura de proyecto mínima (°C)  | Composición química <sup>5</sup> y termotratamiento  | Temperatura de la prueba al choque (°C) |                            |             |  |             |  |             |  |  |
| -60  | acero al 1,5 % de níquel– normalizado o normalizado y revenido o templado y revenido o sometido a procedimiento termomecánico controlado (TMCP) <sup>véase la nota 6</sup>   | -65                                     |                            |             |  |             |  |             |  |  |
| -65  | acero al 2,25 % de níquel – normalizado o normalizado y revenido o templado y revenido o TMCP <sup>6,7</sup>   | -70                                     |                            |             |  |             |  |             |  |  |
| -90  | acero al 3,5 % de níquel – normalizado o normalizado y revenido o templado y revenido o TMCP <sup>6,7</sup>  | -95                                     |                            |             |  |             |  |             |  |  |
| -105   | acero al 5 % de níquel – normalizado o normalizado y revenido o templado y revenido <sup>6,7 y 8</sup>   | -110                                    |                            |             |  |             |  |             |  |  |
| -165   | acero al 9 % de níquel – normalizado dos veces y revenido o templado y revenido <sup>6</sup>   | -196                                    |                            |             |  |             |  |             |  |  |
| -165   | Aceros austeníticos, como los de tipo 304, 304L, 316, 316L, 321 y 347, tratados con solución <sup>9</sup>  | -196                                    |                            |             |  |             |  |             |  |  |
| -165   | Aleaciones de aluminio, como las del tipo 5083 recocido  | No es necesaria                         |                            |             |  |             |  |             |  |  |
| -165   | Aleación de Fe-Ni austenítica (al 36 % de níquel) Termotratamiento acordado  | No es necesaria                         |                            |             |  |             |  |             |  |  |
| REGLAS RELATIVAS A LAS PRUEBAS (AL CHOQUE) DE TRACCIÓN Y RESISTENCIA   |  |   |                            |             |  |             |  |             |  |  |
| Frecuencia de muestreo   |  |   |                            |             |  |             |  |             |  |  |
| ◆ Planchas   | Se someterá a prueba cada "pieza"  |   |                            |             |  |             |  |             |  |  |
| ◆ Secciones y piezas forjadas  | Se someterá a prueba cada "lote"   |   |                            |             |  |             |  |             |  |  |
| Resistencia (prueba con entalla Charpy en V)   |  |   |                            |             |  |             |  |             |  |  |
| ◆ Planchas   | Piezas de pruebas transversales. Valores de energía media mínima (KV) 27 J   |   |                            |             |  |             |  |             |  |  |
| ◆ Secciones y piezas forjadas  | Piezas de pruebas longitudinales. Energía media mínima (KV) 41 J   |   |                            |             |  |             |  |             |  |  |
| <b>Notas:</b>  |  |   |                            |             |  |             |  |             |  |  |
| 1  | La Administración podrá considerar de manera especial la prueba al choque prescrita para las piezas forjadas que se utilicen en aplicaciones críticas.   |   |                            |             |  |             |  |             |  |  |
| 2  | Las reglas aplicables a las temperaturas de proyecto por debajo de -165 °C serán objeto de un acuerdo especial con la Administración.  |   |                            |             |  |             |  |             |  |  |
| 3  | Respecto de los materiales de 1,5 % de Ni, 2,25 % de Ni, 3,5 % de Ni y 5 % de Ni, cuyo espesor sea superior a 25 mm, la prueba al choque se realizará de la manera siguiente:  |   |                            |             |  |             |  |             |  |  |
|  | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Espesor del material (mm)</th> <th>Temperatura de prueba (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>25 &lt; t ≤ 30</td> <td>10 °C por debajo de la temperatura de proyecto</td> </tr> <tr> <td>30 &lt; t ≤ 35</td> <td>15 °C por debajo de la temperatura de proyecto</td> </tr> <tr> <td>35 &lt; t ≤ 40</td> <td>20 °C por debajo de la temperatura de proyecto</td> </tr> </tbody> </table> | Espesor del material (mm)               | Temperatura de prueba (°C) | 25 < t ≤ 30 | 10 °C por debajo de la temperatura de proyecto | 30 < t ≤ 35 | 15 °C por debajo de la temperatura de proyecto | 35 < t ≤ 40 | 20 °C por debajo de la temperatura de proyecto |  |
| Espesor del material (mm)  | Temperatura de prueba (°C)   |   |                            |             |  |             |  |             |  |  |
| 25 < t ≤ 30  | 10 °C por debajo de la temperatura de proyecto   |   |                            |             |  |             |  |             |  |  |
| 30 < t ≤ 35  | 15 °C por debajo de la temperatura de proyecto   |   |                            |             |  |             |  |             |  |  |
| 35 < t ≤ 40  | 20 °C por debajo de la temperatura de proyecto   |   |                            |             |  |             |  |             |  |  |

El valor de energía se ajustará al cuadro correspondiente al tipo aplicable de muestra de prueba. Para los materiales de más de 40 mm de espesor se tendrán especialmente en cuenta los valores de entalla Charpy en V.

- 4 Para los aceros con un 9 % de Ni, los aceros inoxidable austeníticos y las aleaciones de aluminio, se podrán utilizar espesores superiores a 25 mm.
- 5 Los límites de las composiciones químicas se ajustarán a normas reconocidas.
- 6 Los aceros al níquel producidos con un procedimiento termomecánico controlado quedarán sujetos a la aceptación de la Administración.
- 7 Se podrá concertar con la Administración, con carácter especial, una temperatura de proyecto mínima inferior para los aceros templados y revenidos.
- 8 Se podrá utilizar un acero al 5 % de níquel hasta -165 °C que haya recibido un termotratamiento especial, como el acero al 5 % de níquel de triple termotratamiento, a condición de que las pruebas al choque se realicen a -196 °C.
- 9 La prueba al choque podrá omitirse a condición de que se concierte con la Administración.

Cuadro 7.4

| <b>TUBOS (SIN COSTURA Y SOLDADOS),<sup>1</sup> PIEZAS FORJADAS<sup>2</sup> Y DE FUNDICIÓN<sup>2</sup> PARA TUBERÍAS DE COMBUSTIBLE Y DE PROCESOS DE ELABORACIÓN PARA TEMPERATURAS DE PROYECTO POR DEBAJO DE 0 °C Y HASTA -165 °C<sup>3</sup><br/>Espesor máximo de 25 mm</b> |  |                            |                           |
|--|--|----------------------------|---------------------------|
| Temperatura de proyecto mínima (°C)  | Composición química <sup>5</sup> y termotratamiento  | Prueba al choque           |                           |
|  |  | Temperatura de prueba (°C) | Energía media mínima (KV) |
| -55  | Acero al carbonomanganeso. Grano fino, calmado. Normalizado o según lo acordado <sup>6</sup>   | véase la nota 4            | 27                        |
| -65  | Acero al 2,25 % de níquel. Normalizado, normalizado y revenido o templado y revenido <sup>6</sup>  | -70                        | 34                        |
| -90  | Acero al 3,5 % de níquel. Normalizado, normalizado y revenido o templado y revenido <sup>6</sup>   | -95                        | 34                        |
| -165   | Acero al 9 % de níquel. <sup>7</sup> Normalizado dos veces y revenido o templado y revenido  | -196                       | 41                        |
|  | Aceros austeníticos, como los de tipo 304, 304L, 316, 316L, 321 y 347, tratados con solución <sup>8</sup>  | -196                       | 41                        |
|  | Aleaciones de aluminio, como las del tipo 5083 recocido  |                            | No es necesaria           |
| <b>REGLAS RELATIVAS A LAS PRUEBAS (AL CHOQUE) DE TRACCIÓN Y RESISTENCIA</b>  |  |                            |                           |
| Frecuencia de muestreo   |  |                            |                           |
| ◆ Se someterá a prueba cada "lote"   |  |                            |                           |
| Resistencia (prueba con entalla Charpy en V)   |  |                            |                           |
| ◆ Prueba al choque: piezas de prueba longitudinales  |  |                            |                           |
| <b>Notas:</b>  |  |                            |                           |
| 1  | La utilización de los tubos soldados longitudinalmente o en espiral deberá ser aprobada especialmente por la Administración.                     |                            |                           |
| 2  | La Administración podrá considerar de manera especial las reglas aplicables a las piezas forjadas y de fundición.                                |                            |                           |
| 3  | Las reglas aplicables a las temperaturas de proyecto por debajo de -165 °C serán objeto de un acuerdo especial con la Administración.            |                            |                           |
| 4  | La temperatura de prueba será de 5 °C por debajo de la temperatura de proyecto o de -20 °C, si ésta es inferior.                                 |                            |                           |
| 5  | Los límites de las composiciones químicas se ajustarán a normas reconocidas.   |                            |                           |
| 6  | Se podrá concertar con la Administración, con carácter especial, una temperatura de proyecto inferior para los materiales templados y revenidos. |                            |                           |
| 7  | Esta composición química no es adecuada para las piezas de fundición.  |                            |                           |
| 8  | Las pruebas al choque podrán omitirse, a condición de que se concierte con la Administración.  |                            |                           |

Cuadro 7.5

| PLANCHAS Y SECCIONES DE LAS ESTRUCTURAS DEL CASCO<br>PRESCRITAS EN 6.4.13.1.1.2 |  |    |    |    |    |    |    |    |
|---|--|----|----|----|----|----|----|----|
| Temperatura de proyecto mínima de la estructura del casco (°C)                  | Espesor máximo (mm) de los grados de acero   |    |    |    |    |    |    |    |
|   | A  | B  | D  | E  | AH | DH | EH | FH |
| 0 y superior  | Normas reconocidas   |    |    |    |    |    |    |    |
| Hasta -5  | 15   | 25 | 30 | 50 | 25 | 45 | 50 | 50 |
| Hasta -10   | x  | 20 | 25 | 50 | 20 | 40 | 50 | 50 |
| Hasta -20   | x  | x  | 20 | 50 | x  | 30 | 50 | 50 |
| Hasta -30   | x  | x  | x  | 40 | x  | 20 | 40 | 50 |
| Por debajo de -30   | De conformidad con lo establecido en el cuadro 7.2, salvo que no sea aplicable la limitación de espesor establecida en el cuadro 7.2 y en la nota 2 de ese cuadro. |    |    |    |    |    |    |    |
| <b>Notas:</b>   |  |    |    |    |    |    |    |    |
| "x" significa el grado de acero que no se debe utilizar.                        |  |    |    |    |    |    |    |    |

7.4.1.2 No deberán utilizarse materiales cuyo punto de fusión sea inferior a 925 °C en las tuberías tendidas fuera de los tanques de combustible.

7.4.1.3 En el caso de los tanques de GNC, la Administración podrá considerar la posibilidad especial de emplear materiales que no estén contemplados en las indicaciones anteriores.

7.4.1.4 Cuando sea necesario, el tubo o conducto exterior cuyo tubo interior lleve gas a alta presión cumplirá, como mínimo, las reglas aplicables a materiales para tubos con una temperatura de proyecto de -55 °C, como se indica en el cuadro 7.4.

7.4.1.5 Los tubos o conductos exteriores alrededor de tubos de combustible de gas licuado cumplirán, como mínimo, las reglas aplicables a materiales para tubos con una temperatura de proyecto de -165 °C, como se indica en el cuadro 7.4.

## 8 TOMA DE COMBUSTIBLE

### 8.1 Objetivo

8.1.1 Este capítulo tiene como objetivo lograr que, mediante los sistemas adecuados instalados a bordo, se realice la toma de combustible sin poner en peligro a las personas, el medio ambiente o el buque.

### 8.2 Prescripciones funcionales

8.2.1 Este capítulo está relacionado con las prescripciones funcionales 3.2.1 a 3.2.11, y 3.2.13 a 3.2.17. En particular, se dispone lo siguiente:

8.2.1.1 El sistema de tuberías para el trasvase de combustible al tanque de almacenamiento estará proyectado de manera que ninguna fuga del sistema de tuberías ponga en peligro al personal, el medio ambiente o el buque.

## 8.3 Reglas aplicables al puesto de toma de combustible

### 8.3.1 Generalidades

8.3.1.1 El puesto de toma de combustible estará situado en una cubierta expuesta a fin de que haya una buena ventilación natural. Los puestos situados en espacios cerrados o semicerrados serán objeto de atención especial durante la evaluación de riesgos.

8.3.1.2 Las conexiones y las tuberías estarán dispuestas y colocadas de manera que cualquier daño que sufran las tuberías de combustible no ocasione averías en el sistema de contención de combustible del buque que pudieran dar lugar a una descarga descontrolada de gas.

8.3.1.3 Se dispondrá lo necesario para manejar de manera segura todo derrame de combustible.

8.3.1.4 Se deberán proporcionar los medios adecuados para aliviar la presión y eliminar el contenido líquido de las aspiraciones de las bombas y las tuberías de combustible. El líquido recogido se descargará a los tanques de combustible de gas licuado o en otro lugar adecuado.

8.3.1.5 En caso de pérdida de combustible, las estructuras circundantes del casco o de la cubierta no deberán quedar expuestas a un enfriamiento inadmisibles.

8.3.1.6 En los puestos de toma de combustible de GNC, se considerará la posibilidad de instalar un aislamiento de acero de baja temperatura en caso de que escapen chorros fríos que puedan afectar a la estructura circundante del casco.

### 8.3.2 Conductos flexibles de combustible instalados en el buque

8.3.2.1 Los conductos flexibles para líquidos y vapor utilizados en el trasvase de combustible serán adecuados para el combustible y apropiados para la temperatura del mismo.

8.3.2.2 Los conductos flexibles sometidos a la presión de los tanques o a la presión de descarga de las bombas o de los compresores de vapor se proyectarán para resistir una presión de rotura que equivalga, como mínimo, a cinco veces la presión máxima a la que pueda verse sometido el conducto flexible durante la toma de combustible.

## 8.4 Reglas aplicables al colector

8.4.1 El colector de toma de combustible estará proyectado para resistir las cargas externas que se dan durante la toma de combustible. Las conexiones del puesto de toma de combustible serán del tipo de desacoplamiento en seco, equipadas, como medida adicional, con acoplamientos de desconexión de seguridad en seco/de liberación rápida con obturación automática. Los acoplamientos serán del tipo normal.

## 8.5 Reglas aplicables al sistema de toma de combustible

8.5.1 Se proporcionarán medios para purgar con gas inerte los tubos de combustible.

8.5.2 El sistema de toma de combustible se instalará de modo tal que no se libere gas a la atmósfera durante el llenado de los tanques de almacenamiento.

8.5.3 En todas las tuberías de toma de combustible se instalarán en serie, cerca del punto de conexión, una válvula de cierre de accionamiento manual y una válvula de cierre telemandada, o una válvula combinada de accionamiento manual y telemandada. Será posible accionar la válvula telemandada en el puesto de control de las operaciones de toma de combustible y/o en otro punto seguro.

8.5.4 Se proporcionarán medios para vaciar las tuberías de toma de combustible al finalizar las operaciones de toma de combustible.

8.5.5 Las tuberías de toma de combustible estarán dispuestas de manera que se puedan inertizar y desgasificar. Cuando no se utilicen en las operaciones de toma de combustible, los tubos de la toma de combustible estarán desgasificados, a menos que se evalúen y aprueben las consecuencias de no efectuar una desgasificación.

8.5.6 Si los tubos de toma de combustible están dispuestos en forma de interconexión, será necesario asegurarse, utilizando medios de aislamiento adecuados, de que no se trasvase combustible inadvertidamente al costado del buque que no se esté utilizando para la toma de combustible.

8.5.7 Se instalará un enlace buque-tierra o un medio equivalente para comunicarse con la fuente de la toma de combustible si se produce una desactivación automática y manual en caso de emergencia.

8.5.8 Se fijará un tiempo por defecto calculado de conformidad con lo dispuesto en 16.7.3.7, que abarque desde el momento en que se dispara la alarma hasta el cierre completo de la válvula telemandada, si no se demuestra que es necesario asignarle un valor más alto debido a consideraciones sobre los saltos de presión.

## **9 SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE A LOS DISPOSITIVOS DE CONSUMO**

### **9.1 Objetivo**

Este capítulo tiene por objetivo garantizar una distribución de combustible a los dispositivos de consumo fiable y sin riesgos.

### **9.2 Prescripciones funcionales**

Este capítulo está relacionado con las prescripciones funcionales 3.2.1 a 3.2.6, 3.2.8 a 3.2.11 y 3.2.13 a 3.2.17. En particular, se dispone que:

- .1 el sistema de suministro de combustible estará dispuesto de modo que permita reducir al mínimo las consecuencias de cualquier descarga de combustible y facilitar al mismo tiempo un acceso seguro a efectos de su funcionamiento e inspección.
- .2 el sistema de tuberías para el trasvase de combustible a los dispositivos de consumo estará proyectado de modo que un fallo en una barrera no dé lugar a una fuga desde el sistema de tuberías hacia la zona circundante que ponga en peligro a las personas a bordo, el medio ambiente o el buque; y
- .3 los tubos de combustible situados fuera de los espacios de máquinas se instalarán y protegerán de modo tal que se reduzca al mínimo el riesgo de lesiones del personal y daños al buque en caso de fugas.

## 9.3 Reglas aplicables a la duplicación del suministro de combustible

9.3.1 En el caso de instalaciones monocombustible, el sistema de suministro de combustible estará organizado de modo que haya duplicación y separación completas desde los tanques de combustible hasta el dispositivo de consumo, de manera que una fuga en un sistema no dé como resultado una pérdida de potencia inadmisibles.

9.3.2 En el caso de instalaciones monocombustible, el almacenamiento de combustible deberá estar dividido entre dos o más tanques, que deberán estar instalados en compartimientos separados.

9.3.3 En el caso de tanques de tipo C solamente, se podrá aceptar un tanque si se instalan para él dos espacios de conexiones de tanques completamente separados.

## 9.4 Reglas aplicables a las funciones de seguridad del sistema de suministro de gas

9.4.1 Las salidas y entradas de los tanques de almacenamiento de combustible estarán provistas de válvulas situadas tan cerca del tanque como sea posible. Las válvulas que deban accionarse durante el funcionamiento normal y que no sean accesibles deberán ser accionables a distancia. Las válvulas de los tanques, accesibles o no, se accionarán automáticamente cuando se active el sistema de seguridad prescrito en 15.2.1.2.

9.4.2 La tubería principal de suministro de gas a cada dispositivo o conjunto de dispositivos de consumo estará provista de una válvula de cierre de accionamiento manual y una "válvula maestra de combustible de gas" de accionamiento automático acopladas en serie, o una válvula combinada de accionamiento manual y automático. Las válvulas deberán instalarse en la parte de la tubería que está fuera del espacio de máquinas que contiene los dispositivos de gas, lo más cerca posible de la instalación de calefacción de gas, si la hay. La válvula maestra de combustible de gas cortará de manera automática el suministro de gas cuando la active el sistema de seguridad prescrito en 15.2.2.

9.4.3 La válvula maestra de combustible de gas automática se podrá accionar desde emplazamientos seguros en vías de evacuación dentro de un espacio de máquinas que contenga un dispositivo de gas, la sala de control de máquinas, si procede, fuera del espacio de máquinas y desde el puente de navegación.

9.4.4 Cada uno de los dispositivos de gas estará provisto de un juego de "válvulas de doble bloqueo y purga". Estas válvulas se dispondrán como se indica en .1 y .2, de modo que, cuando se active el sistema de seguridad prescrito en 15.2.2, se cierren automáticamente las válvulas de cierre instaladas en serie y se abra automáticamente la válvula de purga y:

- .1 las dos válvulas de cierre estarán instaladas en serie en la tubería de alimentación de combustible de gas conectada al equipo de gas. La válvula de purga estará situada en una tubería que respire hacia un lugar seguro al aire libre el tramo de la tubería de combustible de gas situado entre las dos válvulas en serie; o
- .2 la función de una de las válvulas de cierre en serie y la de la válvula de purga se podrá incorporar en un solo cuerpo de válvula, dispuesto de tal manera que se cierre el flujo hacia la unidad de gas y se abra la ventilación.

9.4.5 Las dos válvulas serán del tipo que se cierra en caso de fallo, en tanto que la válvula de ventilación deberá ser del tipo que se abre en caso de fallo.

9.4.6 Las válvulas de doble bloqueo y purga también se utilizarán para la parada normal del motor.

9.4.7 Cuando se cierra automáticamente la válvula maestra de combustible de gas, se ventilará automáticamente todo el ramal de suministro de gas que sigue a las válvulas de doble bloqueo y purga, suponiendo que el flujo del motor a la tubería se invierta.

9.4.8 Habrá una válvula de cierre de accionamiento manual en la tubería de suministro de gas que va a cada motor en un punto previo a las válvulas de doble bloqueo y purga a fin de disponer de un medio de aislamiento seguro durante el mantenimiento del motor.

9.4.9 En las instalaciones de un solo motor y las instalaciones con varios motores en las que se disponga de una válvula maestra independiente para cada motor, es posible combinar la función de la válvula maestra de combustible de gas con la de las válvulas de doble bloqueo y purga.

9.4.10 Por cada tubería principal de suministro de gas que entre en un espacio de máquinas protegido por desactivación en caso de emergencia y por cada tubería de suministro de gas a instalaciones de alta presión, se proporcionarán medios para la detección rápida de roturas en la tubería de gas en la sala de máquinas. Al detectarse una rotura se cerrará automáticamente una válvula. Esta válvula estará situada en la tubería de suministro de gas antes de entrar en la sala de máquinas o tan cerca como sea posible del punto de entrada en el interior de la sala de máquinas. Puede ser una válvula separada o estar combinada con otras funciones, por ejemplo, las de una válvula maestra.

## **9.5 Reglas aplicables a la distribución de combustible fuera del espacio de máquinas**

9.5.1 Cuando las tuberías de combustible pasen por espacios cerrados del buque, estarán protegidos por una segunda envuelta, que puede ser un conducto de ventilación o un sistema de tuberías de doble pared. El conducto o el sistema de tuberías de doble pared estarán ventilados mecánicamente a subpresión con 30 renovaciones de aire por hora, y estarán provistos de medios de detección de gas como se prescribe en 15.8. La Administración también podrá aceptar otras soluciones que proporcionen un nivel equivalente de seguridad.

9.5.2 La prescripción del párrafo 9.5.1 no debe aplicarse a las tuberías de respiración de combustible gas completamente soldadas que atraviesen espacios con ventilación mecánica.

## **9.6 Reglas aplicables al suministro de combustible a los dispositivos de consumo en espacios de máquinas protegidos contra los gases**

9.6.1 En los espacios de máquinas protegidos contra los gases, las tuberías de gas estarán completamente encerradas en una tubería o conducto de doble pared que cumpla una de las siguientes condiciones:

- .1 las tuberías de gas deberán ser un sistema de tuberías de doble pared en el cual el combustible de gas circula por la tubería interna. El espacio situado entre las tuberías concéntricas deberá contener gas inerte a una presión mayor que la del combustible de gas. Se deberán disponer alarmas apropiadas que alerten de la pérdida de presión del gas inerte entre las tuberías. Si la tubería interna contiene gas a alta presión, el sistema deberá estar dispuesto de modo tal que la tubería situada entre la válvula maestra de gas y el motor se purgue automáticamente con gas inerte al cerrarse la válvula maestra de gas; o

- .2 las tuberías de combustible de gas se deberán instalar dentro de una tubería o un conducto ventilados. El espacio de aire que queda entre la tubería de combustible de gas y la pared de la tubería o el conducto externos deberá estar dotado de ventilación mecánica a presión con una capacidad mínima de 30 renovaciones de aire por hora. Esta capacidad de ventilación podrá reducirse a 10 renovaciones de aire por hora si se dispone el llenado automático del conducto con nitrógeno en caso que se detecte gas. Los motores de los ventiladores deberán cumplir las prescripciones de protección contra explosiones de la zona en la que estén instalados. La salida de la ventilación deberá estar cubierta por una pantalla protectora e irá situada en un punto en el que no sea posible la ignición de la mezcla inflamable de gas y aire; o
- .3 la Administración también podrá aceptar otras soluciones que proporcionen un nivel equivalente de seguridad.

9.6.2 La conexión de las tuberías y los conductos de gas a las válvulas de inyección de gas estará completamente cubierta por el conducto. La instalación facilitará la sustitución y/o la reparación de las válvulas de inyección y las tapas de cilindros. El sistema de doble conducto también se prescribe para todas las tuberías de gas del motor hasta que se inyecta el gas en la cámara.

#### **9.7 Reglas aplicables al suministro de combustible de gas a los dispositivos de consumo en espacios de máquinas protegidos por desactivación en caso de emergencia**

9.7.1 La presión del sistema de suministro de combustible de gas no será superior a 1,0 MPa.

9.7.2 Las tuberías de suministro de combustible de gas tendrán una presión de proyecto mínima de 1,0 MPa.

#### **9.8 Reglas aplicables al proyecto de los conductos ventilados y las tuberías exteriores contra fugas de gas de las tuberías interiores**

9.8.1 La presión de proyecto de la tubería o conducto exterior de los sistemas de combustible no será inferior a la presión de servicio máxima de la tubería interior. De manera alternativa, en el caso de los sistemas de tuberías de combustible con una presión de servicio superior a 1,0 MPa, la presión de proyecto del conducto o tubería exterior no será inferior a la presión acumulada máxima que se produzca en el espacio anular, teniendo en cuenta la presión máxima instantánea local en la zona de cualquier ruptura y los medios de ventilación.

9.8.2 En el caso de las tuberías de combustible de alta presión, se considerará como presión de proyecto de los conductos la mayor de las siguientes:

- .1 la presión acumulada máxima: la presión estática en la zona de la ruptura provocada por el flujo de gas en el espacio anular;
- .2 la presión máxima instantánea local en la zona de la ruptura: dicha presión se considerará la presión crítica, que se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$p = p_0 \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

donde:

$p_0$  = presión de servicio máxima de la tubería interior.

$k$  =  $C_p/C_v$ , calor específico a presión constante dividido por el calor específico para un volumen constante.

$k = 1,31$  para el  $\text{CH}_4$ .

El esfuerzo de membrana tangencial de las tuberías rectas no deberá ser superior a la resistencia a la tracción dividida por 1,5 ( $R_m/1,5$ ) cuando éstas estén sometidas a las citadas presiones. Los valores nominales de presión de todos los demás componentes de las tuberías reflejarán el mismo nivel de resistencia que las tuberías rectas.

Como alternativa a utilizar la presión máxima calculada mediante la fórmula anterior se podrá usar la presión máxima obtenida en pruebas representativas. En tal caso se deberán presentar informes sobre las pruebas.

9.8.3 La verificación de la resistencia se basará en cálculos que demuestren la integridad del conducto o la tubería. Como alternativa a los cálculos, la resistencia se puede verificar efectuando pruebas representativas.

9.8.4 En el caso de las tuberías de combustible de baja presión, los conductos se dimensionarán para una presión de proyecto no inferior a la presión de servicio máxima de las tuberías de combustible. El conducto también se someterá a pruebas de presión para comprobar si puede soportar la presión máxima prevista en caso de ruptura de una tubería de combustible.

## 9.9 Reglas aplicables a compresores y bombas

9.9.1 Si los compresores o las bombas son accionados por ejes que atraviesan un mamparo o cubierta, la penetración del mamparo deberá ser estanca al gas.

9.9.2 Los compresores y las bombas serán adecuados para el fin al que se destinan. Todo el equipo y la maquinaria serán tales que puedan someterse a pruebas debidamente para garantizar su idoneidad para el uso en el medio marino. Entre los aspectos que se deben considerar figurarían los siguientes:

- .1 el medio ambiente;
- .2 las vibraciones y aceleraciones a bordo;
- .3 los efectos de los movimientos de cabeceo, oscilación vertical, balance, etc.; y
- .4 la composición del gas.

9.9.3 Se adoptarán medios para asegurarse de que bajo ninguna circunstancia pueda introducirse gas licuado en la sección de control del gas o en maquinaria alimentada con gas, a menos que la maquinaria haya sido proyectada para funcionar con gas en estado líquido.

9.9.4 Los compresores y las bombas estarán provistos de los accesorios e instrumentos necesarios para un funcionamiento eficaz y fiable.

## 10 GENERACIÓN DE POTENCIA, INCLUIDA LA PROPULSIÓN Y OTROS DISPOSITIVOS DE CONSUMO DE GAS

### 10.1 Objetivo

10.1.1 El objetivo de este capítulo es disponer la entrega segura y fiable de la energía mecánica, eléctrica o térmica.

### 10.2 Prescripciones funcionales

Este capítulo está relacionado con las prescripciones funcionales de los párrafos 3.2.1, 3.2.11, 3.2.13, 3.2.16 y 3.2.17. En particular, se dispone que:

- .1 los sistemas de escape se configurarán para impedir las acumulaciones de combustible gaseoso no quemado;
- .2 a menos que se hayan proyectado con la resistencia suficiente para soportar el peor supuesto de sobrepresión debido a fugas de gases encendidos, los componentes de los motores o los sistemas que contengan o que puedan contener una mezcla inflamable de gas y aire se dotarán de sistemas adecuados de alivio de presión. En función del proyecto de motor de que se trate, tales sistemas podrán incluir colectores de admisión de aire y espacios de barrido;
- .3 la respiración de explosión se conducirá lejos de los sitios en que normalmente hay personal; y
- .4 todos los dispositivos de consumo de gas tendrán su propio sistema de escape.

### 10.3 Reglas aplicables a los motores de combustión interna de pistones

#### 10.3.1 Generalidades

10.3.1.1 El sistema de escape estará provisto de un sistema de ventilación de alivio de explosión que tendrá las dimensiones necesarias para evitar las presiones excesivas de explosión en caso de fallo de encendido de un cilindro seguido de la ignición del gas no quemado en el sistema.

10.3.1.2 En los motores en los que el espacio situado debajo del pistón comunica directamente con el cárter se hará una evaluación detallada del peligro potencial de que se acumule combustible de gas en el cárter, y dicha evaluación se reflejará en el concepto de seguridad del motor.

10.3.1.3 Todos los motores, con excepción de los motores diésel de dos tiempos de cruceta, estarán provistos de sistemas de respiración independientes de otros motores por lo que se refiere a los cárteres y los pozos de aspiración.

10.3.1.4 Cuando se pueda producir un escape de gas directamente a un agente del sistema auxiliar (por ejemplo, aceite lubricante, agua de enfriamiento), se instalarán medios adecuados en un punto situado después de la salida del motor para extraer el gas a fin de evitar que se disperse. El gas extraído de los agentes del sistema auxiliar se expulsará a un lugar seguro en la atmósfera.

10.3.1.5 En los motores provistos de sistemas de encendido, antes de la admisión de combustible de gas se comprobará que el sistema de encendido de cada unidad funciona adecuadamente.

10.3.1.6 Se proveerán medios para controlar y detectar la mala combustión y el encendido defectuoso. En dichos casos, se podrá permitir el funcionamiento con gas siempre que se cierre el suministro de gas al cilindro defectuoso y que el funcionamiento del motor con un cilindro apagado sea aceptable por lo que se refiere a las vibraciones torsionales.

10.3.1.7 En los motores que arrancan con combustibles cubiertos por este código, si tras la apertura de la válvula de suministro de combustible, el sistema de control del motor no detecta la combustión en un tiempo específico del motor, se cerrará la válvula automáticamente. Se proveerán medios para garantizar que se purgue del sistema de escape todo rastro de mezcla de combustible no quemado.

### **10.3.2 Reglas aplicables a los motores bicombustible**

10.3.2.1 En caso de que se interrumpa el suministro de combustible de gas, los motores podrán funcionar ininterrumpidamente sólo con combustible líquido.

10.3.2.2 Se instalará un sistema automático que permita pasar del funcionamiento con combustible de gas al funcionamiento con combustible líquido, y viceversa, con una fluctuación mínima de la potencia del motor. Se efectuarán pruebas para demostrar un grado de fiabilidad aceptable. Si el motor funciona de manera inestable cuando esté quemando gas, pasará automáticamente a consumir combustible líquido. Siempre será posible activar manualmente el dispositivo de cierre del sistema de gas.

10.3.2.3 Si se produce una parada normal o una desactivación de emergencia, el suministro de combustible de gas se cortará a más tardar al mismo tiempo que la fuente de encendido. No será posible cortar la fuente de encendido sin cortar antes o simultáneamente el suministro de gas a cada cilindro o a todo el motor.

### **10.3.3 Reglas aplicables a los motores sólo de gas**

Si se produce una parada normal o una desactivación de emergencia, el suministro de combustible de gas se cortará a más tardar al mismo tiempo que la fuente de encendido. No será posible cortar la fuente de encendido sin cortar antes o simultáneamente el suministro de gas a cada cilindro o a todo el motor.

### **10.3.4 Reglas aplicables a los motores multicomcombustible**

10.3.4.1 En caso de interrupción del suministro con un combustible, los motores deberán poder funcionar ininterrumpidamente con otro combustible con una fluctuación mínima de la potencia del motor.

10.3.4.2 Se instalará un sistema automático que permita pasar del funcionamiento con un combustible al funcionamiento con otro combustible con una fluctuación mínima de la potencia del motor. Se efectuarán pruebas para demostrar un grado de fiabilidad aceptable. Si el motor funciona de manera inestable cuando esté quemando un determinado combustible, pasará automáticamente a la modalidad de funcionamiento con otro combustible. La activación manual siempre será posible.

|                       | SÓLO DE GAS |                    | BICOMBUSTIBLE                | MULTICOMBUSTIBLE |
|-----------------------|-------------|--------------------|------------------------------|------------------|
| MEDIO DE ENCENDIDO    | Chispa      | Combustible piloto | Combustible piloto           | N/A              |
| COMBUSTIBLE PRINCIPAL | Gas         | Gas                | Gas y/ o combustible líquido | Gas y/ o líquido |

#### 10.4 Reglas aplicables a las calderas principales y auxiliares

10.4.1 Cada caldera tendrá un sistema de tiro forzado exclusivo. Se podrá instalar un cruce entre los sistemas de tiro forzado para casos de emergencia, siempre que se mantengan todas las funciones de seguridad pertinentes.

10.4.2 Las cámaras de combustión y las tomas de las calderas se proyectarán para evitar las acumulaciones de combustible de gas.

10.4.3 Los quemadores se proyectarán para mantener una combustión estable en todas las condiciones de encendido.

10.4.4 La caldera principal/de propulsión estará provista de un sistema automático que permita pasar del funcionamiento con combustible de gas al funcionamiento con combustible líquido sin interrupción del encendido de la caldera.

10.4.5 Las boquillas de gas y el sistema de control del quemador estarán configurados de manera tal que el combustible de gas sólo pueda ser encendido por una llama de combustible líquido establecida, a menos que el equipo de la caldera y de combustión hayan sido proyectados y aprobados por la Administración para que puedan encenderse con combustible de gas.

10.4.6 Se dispondrá lo necesario para que el flujo de combustible de gas hacia el quemador se corte automáticamente en caso de que el encendido no se realice o mantenga adecuadamente.

10.4.7 En la tubería de combustible de cada quemador se instalará una válvula de cierre de accionamiento manual.

10.4.8 Se tomarán las medidas necesarias para purgar automáticamente con gas inerte las tuberías de suministro de gas a los quemadores tras el apagado de los mismos.

10.4.9 El sistema automático de cambio de combustible prescrito en 10.4.4 será controlado por medio de alarmas para garantizar su disponibilidad permanente.

10.4.10 Se adoptarán las medidas necesarias para que, en caso de fallo de la llama de todos los quemadores en funcionamiento, se purguen de forma automática las cámaras de combustión de las calderas antes de volver a encenderlas.

10.4.11 Se adoptarán las medidas necesarias para poder activar de forma manual la secuencia de purga de las calderas.

#### 10.5 Reglas aplicables a las turbinas de gas

10.5.1 A menos que las turbinas se proyecten con la resistencia suficiente para soportar el peor supuesto de sobrepresión debido a fugas de gases encendidos, se proyectarán e instalarán sistemas de alivio de presión de forma adecuada en los sistemas de escape, teniendo en cuenta las explosiones debidas a fugas de gas. Los sistemas de alivio de presión

instalados en las tomas de los gases de escape se llevarán a zonas seguras, alejadas de lugares en que trabaje el personal.

10.5.2 La turbina de gas podrá instalarse en una envuelta estanca al gas dispuesta de acuerdo con el principio de desactivación en caso de emergencia indicado en 5.6 y 9.7, aunque dentro de la envuelta podrá aceptarse una presión superior a 1,0 MPa en las tuberías de suministro de gas.

10.5.3 Los sistemas de detección de gas y las funciones de desactivación serán los indicados para los espacios de máquinas protegidos por desactivación en caso de emergencia.

10.5.4 La ventilación de la envuelta será como se indica en el capítulo 13 para los espacios de máquinas protegidos por desactivación en caso de emergencia, aunque además se instalará con duplicación completa (ventiladores de capacidad 2x100 % alimentados por circuitos eléctricos diferentes).

10.5.5 En el caso de turbinas de gas que no sean monocombustible, se instalará un sistema automático que permita pasar fácil y rápidamente del funcionamiento con combustible de gas al funcionamiento con combustible líquido, y viceversa, con una fluctuación mínima de la potencia del motor.

10.5.6 Se proveerán medios para controlar y detectar la combustión deficiente que pudiese ocasionar acumulaciones de combustible de gas no quemado en el sistema de escape durante el funcionamiento. En caso de que se detecte dicha circunstancia, se cerrará el suministro de combustible de gas.

10.5.7 Las turbinas estarán provistas de dispositivos de desactivación automática en caso de que se detecten gases de escape a alta temperatura.

## **11 SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS**

### **11.1 Objetivo**

El objetivo de este capítulo es garantizar la prevención, la detección y las medidas de lucha contra incendios por lo que se refiere a todos los componentes de los sistemas de almacenamiento, acondicionamiento, conducción y uso de gas natural como combustible de los buques.

### **11.2 Prescripciones funcionales**

Este capítulo está relacionado con las prescripciones funcionales de los párrafos 3.2.2, 3.2.4, 3.2.5, 3.2.7, 3.2.12, 3.2.14, 3.2.15 y 3.2.17.

### **11.3 Reglas aplicables a la prevención contra incendios**

11.3.1 Todo espacio que contenga equipo para la preparación del combustible, como bombas, compresores, intercambiadores de calor, vaporizadores y recipientes a presión, se considerará espacio de máquinas de categoría A a fines de la prevención contra incendios.

11.3.2 Todo límite de los espacios de alojamiento, los espacios de servicio, los puestos de control, las vías de evacuación y los espacios de máquinas que den a tanques de combustible en cubiertas expuestas estarán protegidos por divisiones de clase A-60. Las divisiones de clase A-60 se extenderán hasta el lado inferior de la cubierta del puente de navegación, y todo

límite situado por encima, incluidas las ventanas del puente de navegación, deberá tener divisiones de clase A-0. Además, los tanques de combustible estarán separados de la carga de conformidad con lo dispuesto en el Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (Código IMDG) cuando los tanques de combustible se consideren embalajes/envases para productos a granel. Por lo que se refiere a las prescripciones sobre estiba y segregación del Código IMDG, los tanques de combustible de gas en cubiertas expuestas se considerarán embalajes/envases de clase 2.1.

11.3.3 El espacio en que se encuentre el sistema de contención de combustible estará separado de los espacios de máquinas de categoría A o de otros recintos de alto riesgo de incendio. La separación se hará mediante un coferdán de 900 mm como mínimo con aislamiento de clase A-60. Cuando se determine el aislamiento del espacio que incluya el sistema de contención de combustible de otros espacios con un riesgo de incendio menor, dicho sistema se considerará espacio de máquinas de categoría A, de conformidad con la regla II-2/9 del Convenio SOLAS. El límite entre los espacios que incluyan sistemas de contención de combustible consistirá en un coferdán de 900 mm como mínimo o en una división de clase A-60. En el caso de los tanques de tipo C, el espacio de bodega de almacenamiento de combustible podrá considerarse un coferdán.

11.3.4 El espacio de bodega de almacenamiento de combustible no se utilizará para alojar maquinaria ni equipo que pueda presentar un riesgo de incendio.

11.3.5 Los medios de prevención contra incendios de las tuberías de combustible tendidas en espacios de carga rodada serán objeto de atención especial por la Administración, en función del uso de las tuberías y de la presión prevista en ellas.

11.3.6 El puesto de toma de combustible estará separado por divisiones de clase A-60 de los espacios de máquinas de categoría A, los espacios de alojamiento, los puestos de control y los espacios de alto riesgo de incendio, excepto los espacios tales como los tanques, los espacios vacíos, los espacios de maquinaria auxiliar de riesgo de incendio bajo o nulo, los espacios para fines sanitarios y espacios similares en los que la norma de aislamiento se pueda reducir a la de clase A-0.

11.3.7 Si un espacio de máquinas protegido por desactivación en caso de emergencia está separado por un solo límite, éste será una división de clase A-60.

## 11.4 Reglas aplicables al colector contraincendios

11.4.1 El sistema de extinción por aspersión de agua que se prescribe a continuación podrá ser parte del sistema del colector contraincendios siempre y cuando la capacidad y la presión de servicio de la bomba contraincendios sean suficientes para el funcionamiento simultáneo del número necesario de bocas contraincendios y mangueras y del sistema de extinción por aspersión de agua.

11.4.2 En los casos en los que el tanque o los tanques de almacenamiento de combustible se encuentren en una cubierta expuesta, se instalarán válvulas aisladoras en el colector contraincendios a fin de aislar las secciones dañadas del colector. El aislamiento de una sección del colector contraincendios no dejará sin agua la manguera contraincendios situada a continuación del tramo aislado del suministro de agua.

## 11.5 Reglas aplicables al sistema de aspersión de agua

11.5.1 Se instalará un sistema de aspersión de agua para el enfriamiento y la prevención de incendios que cubra las partes expuestas del tanque o tanques de almacenamiento de combustible situados en la cubierta expuesta.

11.5.2 El sistema de aspersión de agua también cubrirá los límites de las superestructuras, las salas de compresores, las salas de bombas, las salas de control de la carga, los puestos de control de la toma de combustible, los puestos de toma de combustible y cualesquiera otras casetas de cubierta normalmente dotadas de personal que den al tanque de almacenamiento en cubiertas expuestas, a menos que el tanque esté situado a 10 m o más de los límites.

11.5.3 El sistema estará proyectado de modo que cubra todas las superficies especificadas anteriormente con un régimen de aplicación de 10 l/min/m<sup>2</sup> para las superficies de proyección horizontal más grandes y de 4 l/min/m<sup>2</sup> en el caso de las superficies verticales.

11.5.4 Se instalarán válvulas de cierre en la tubería o tuberías principales de suministro de aspersión de agua a tramos que no excedan de 40 m, con el fin de aislar las secciones dañadas. De manera alternativa, el sistema podrá dividirse en dos o más secciones que podrán utilizarse por separado, a condición de que los mandos necesarios se instalen juntos en un emplazamiento de fácil acceso que probablemente siga siendo accesible en caso de incendio en las zonas protegidas.

11.5.5 La capacidad de la bomba de aspersión de agua será suficiente para bombear el caudal necesario a la zona que requiera mayor cantidad de agua en las zonas protegidas, como se especifica más arriba.

11.5.6 Si el sistema de aspersión de agua no es parte del sistema del colector contraincendios, se conectará al colector contraincendios del buque mediante una válvula de cierre.

11.5.7 El mando de activación a distancia de las bombas de suministro del sistema de aspersión de agua y el accionamiento a distancia de cualesquiera de las válvulas del sistema que normalmente están cerradas estarán situados en un sitio de fácil acceso que probablemente siga siendo accesible en caso de incendio en las zonas protegidas.

11.5.8 Las boquillas serán de diámetro interior uniforme, de un tipo aprobado, y estarán dispuestas de modo que se garantice una distribución eficaz del agua en todo el espacio que protejan.

## 11.6 Reglas aplicables al sistema de extinción de incendios a base de polvo químico seco

11.6.1 En la zona del puesto de toma de combustible habrá instalado de manera permanente un sistema de extinción de incendios a base de polvo químico seco que proteja todos los posibles puntos de fuga. Tendrá una capacidad mínima de 3,5 kg/s para un mínimo de 45 s. El sistema estará instalado de modo que su extracción manual sea fácil desde un lugar seguro fuera de la zona protegida.

11.6.2 Además de otros extintores portátiles que puedan prescribirse en otros instrumentos de la OMI, cerca del puesto de toma de combustible habrá un extintor de polvo seco portátil de una capacidad mínima de 5 kg.

## 11.7 Reglas aplicables al sistema de detección de incendios y de alarma contra incendios

11.7.1 En los espacios de bodega de almacenamiento de combustible y el tronco de ventilación para el sistema de contención de combustible situado debajo de la cubierta y para todas las otras salas del sistema de combustible de gas en las que no se pueda excluir la posibilidad de un incendio se instalará un sistema fijo de detección de incendios y alarma contra incendios que cumpla lo dispuesto en el Código de sistemas de seguridad contra incendios.

11.7.2 No deberá considerarse que los detectores de humo por sí solos son suficientes para la detección rápida de incendios.

## 12 PREVENCIÓN DE EXPLOSIONES

### 12.1 Objetivo

El objetivo de este capítulo es disponer la prevención de las explosiones y limitar sus efectos.

### 12.2 Prescripciones funcionales

Este capítulo está relacionado con las prescripciones funcionales 3.2.2 a 3.2.5, 3.2.7, 3.2.8, 3.2.12 a 3.2.14 y 3.2.17. En particular se dispone que:

La probabilidad de explosiones se reducirá a un mínimo:

- .1 reduciendo el número de fuentes de ignición; y
- .2 reduciendo la probabilidad de que se formen mezclas inflamables.

### 12.3 Reglas – Generalidades

12.3.1 Las zonas potencialmente peligrosas en cubiertas expuestas y otros espacios no abarcados en este capítulo se determinarán con base en una norma reconocida. El equipo eléctrico instalado en zonas potencialmente peligrosas se ajustará a la misma norma.

12.3.2 Normalmente no se instalará equipo ni cableado eléctrico en las zonas potencialmente peligrosas, a menos que sean esenciales para fines operacionales sobre la base de una norma reconocida.

12.3.3 El equipo eléctrico instalado en los espacios de máquinas protegidos por desactivación en caso de emergencia cumplirá lo siguiente:

- .1 además de los detectores de incendios y de hidrocarburos gaseosos y los dispositivos de alarma contra incendios y contra fugas de gas, el alumbrado y los ventiladores de ventilación deberán estar certificados como seguros para el emplazamiento 1 de una zona potencialmente peligrosa; y
- .2 todo equipo eléctrico de los espacios de máquinas que contengan motores de gas y que no sea del tipo certificado como seguro para el emplazamiento 1 se deberá desconectar automáticamente cuando dos detectores midan una concentración de gas superior al 40 % del límite inferior de explosividad en el espacio que contenga dispositivos de consumo alimentados por gas.

## 12.4 Reglas aplicables a la clasificación de zonas

12.4.1 La clasificación de zonas es un método de análisis y clasificación de las zonas en las que pueden generarse atmósferas de gas explosivo. La finalidad de la clasificación es permitir la selección de aparatos eléctricos que puedan funcionar en condiciones de seguridad en estas zonas.

12.4.2 A fin de facilitar la selección de los aparatos eléctricos apropiados y el proyecto de instalaciones eléctricas adecuadas, las zonas potencialmente peligrosas se dividen en emplazamientos 0, 1 y 2. Véase también el párrafo 12.5, más abajo.

12.4.3 Los conductos de ventilación tendrán la misma clasificación de zona que el espacio ventilado.

## 12.5 Emplazamientos de zonas potencialmente peligrosas

12.5.1 Emplazamiento 0 de una zona potencialmente peligrosa:

Este emplazamiento incluye, entre otros lugares, el interior de los tanques de combustible y todas las tuberías de alivio de presión u otros sistemas de respiración de los tanques de combustible y de las tuberías y equipo que contengan combustible.

12.5.2 Emplazamiento 1 de una zona potencialmente peligrosa:

Este emplazamiento incluye, entre otros lugares:

- .1 los espacios de las conexiones de los tanques, los espacios de bodega de almacenamiento de combustible y los espacios interbarreras;
- .2 los cuartos de preparación del combustible con los medios de ventilación estipulados en 13.6;
- .3 las zonas de cubiertas expuestas, o espacios semicerrados en cubierta, situados a menos de 3 m de cualquier salida del tanque de combustible o de cualquier salida de gas o vapor, válvulas colectoras de la toma de combustible, otras válvulas de combustible, bridas de tuberías de combustible, salidas de ventilación del cuarto de preparación del combustible y aberturas de tanques de combustible para aliviar la presión dispuestas a fin de permitir el flujo de pequeños volúmenes de mezclas de gas o de vapor ocasionado por la variación térmica;
- .4 las zonas de cubiertas expuestas o los espacios semicerrados de cubierta situados a menos de 1,5 m de las entradas de los cuartos de preparación del combustible, las entradas de ventilación de los cuartos de preparación del combustible y otras aberturas que den a espacios del emplazamiento 1;
- .5 las zonas de cubiertas expuestas dentro de las brazolas de derrame que rodeen a válvulas colectoras de la toma de combustible de gas y 3 m más allá de éstas, hasta una altura de 2,4 m por encima de la cubierta;
- .6 los espacios cerrados o semicerrados en los cuales se encuentran tuberías que contienen combustible; por ejemplo, conductos situados alrededor de tuberías de combustible, puestos de toma de combustible semicerrados, etc.;

- .7 los espacios de máquinas protegidos por desactivación en caso de emergencia se consideran zonas no potencialmente peligrosas durante el funcionamiento normal, pero para que se certifiquen como adecuados para el emplazamiento 1 requerirán el equipo necesario para funcionar después de que se detecte una fuga de gas;
- .8 los espacios protegidos por esclusas neumáticas se consideran zonas no potencialmente peligrosas durante el funcionamiento normal pero, para que se certifiquen como adecuados para el emplazamiento 1, requerirán el equipo necesario para funcionar tras una pérdida de presión diferencial entre el espacio protegido y la zona potencialmente peligrosa; y
- .9 a excepción de los tanques de tipo C, toda zona situada a menos de 2,4 m de la superficie exterior de un sistema de contención de combustible, si dicha superficie está a la intemperie.

### 12.5.3 Emplazamiento 2 de una zona potencialmente peligrosa

12.5.3.1 Este emplazamiento incluye, entre otros lugares, las zonas situadas a menos de 1,5 m en torno a espacios del emplazamiento 1 abiertos o semicerrados.

12.5.3.2 Los espacios que tengan escotillas con pasadores para los espacios de las conexiones de los tanques.

## 13 VENTILACIÓN

### 13.1 Objetivo

El objetivo de este capítulo es disponer la ventilación necesaria para el funcionamiento sin riesgos de la maquinaria y el equipo de gas.

### 13.2 Prescripciones funcionales

Este capítulo está relacionado con las prescripciones funcionales establecidas en 3.2.2, 3.2.5, 3.2.8, 3.2.10, 3.2.12 a 3.2.14 y 3.2.17.

### 13.3 Reglas – Generalidades

13.3.1 Todos los conductos utilizados para la ventilación de los espacios potencialmente peligrosos estarán separados de los conductos utilizados para la ventilación de los espacios no potencialmente peligrosos. La ventilación funcionará a todas las temperaturas y en las condiciones ambientales en las que vaya a funcionar el buque.

13.3.2 Los motores eléctricos de los ventiladores no se instalarán en conductos de ventilación de espacios potencialmente peligrosos a menos que estén certificados para el mismo emplazamiento potencialmente peligroso que el espacio protegido.

13.3.3 El proyecto de los ventiladores de espacios que contengan fuentes de gas reunirá las siguientes características:

- .1 Los ventiladores no crearán fuentes de ignición de vapor en el espacio ventilado ni en el sistema de ventilación de dicho espacio. Los ventiladores y los conductos correspondientes instalados en la zona de los ventiladores

serán de un tipo de construcción que no desprende chispas, como se indica a continuación:

- .1 impulsores o alojamientos de material no metálico, prestando la debida atención a la eliminación de electricidad estática;
  - .2 impulsores y alojamientos de metales no ferrosos;
  - .3 impulsores y alojamientos de acero inoxidable austenítico;
  - .4 impulsores de aleaciones de aluminio o magnesio y alojamiento ferroso (incluido el acero inoxidable austenítico) en el que se instala un anillo de espesor adecuado de materiales no ferrosos en la zona del impulsor, prestando la debida atención a la electricidad estática y a la corrosión entre el anillo y el alojamiento; o
  - .5 cualquier combinación de impulsores y alojamientos ferrosos (incluido el acero inoxidable austenítico) proyectada con un huelgo mínimo de 13 mm en las puntas de las palas.
- .2 La holgura radial entre el impulsor y el guardacalor nunca será inferior a 0,1 veces el diámetro del eje del impulsor en la zona del cojinete y nunca tendrá menos de 2 mm. No es necesario que la holgura supere los 13 mm.
  - .3 Se considera que toda combinación de un componente fijo o giratorio de aleación de aluminio o magnesio y de un componente fijo o giratorio ferroso, sea cual fuere el huelgo de las puntas de las palas, es peligrosa por la posible emisión de chispas, por lo cual no se utilizará en estos lugares.

13.3.4 Los sistemas de ventilación prescritos para evitar las acumulaciones de gas consistirán en ventiladores independientes, cada uno de capacidad suficiente, a menos que se especifique lo contrario en este código.

13.3.5 Las tomas de aire para los espacios cerrados potencialmente peligrosos admitirán aire de zonas que, en ausencia de dichas tomas, no serían potencialmente peligrosas. Las tomas de aire que sirven a espacios cerrados no potencialmente peligrosos admitirán aire de zonas no potencialmente peligrosas y estarán emplazadas a 1,5 m, como mínimo, de los límites de cualquier zona potencialmente peligrosa. En los casos en los que el conducto de la toma atraviese un espacio potencialmente más peligroso, el conducto será estanco al gas y tendrá una sobrepresión en comparación con ese espacio.

13.3.6 Las salidas de aire de los espacios no potencialmente peligrosos estarán situadas fuera de las zonas potencialmente peligrosas.

13.3.7 Las salidas de aire de los espacios cerrados potencialmente peligrosos estarán situadas en una zona abierta que, en ausencia de la salida de aire, tendría un nivel de peligro potencial igual o inferior al del espacio ventilado.

13.3.8 Por lo general, la capacidad prescrita de la instalación de ventilación se basa en el volumen total de la cámara. En las cámaras de configuración compleja puede ser necesario aumentar la capacidad de ventilación prescrita.

13.3.9 Los espacios no potencialmente peligrosos que tengan aberturas de entrada que den a zonas potencialmente peligrosas tendrán una esclusa neumática y se mantendrán a sobrepresión en comparación con la zona potencialmente peligrosa externa. La ventilación de esta sobrepresión se dispondrá con arreglo a lo siguiente:

- .1 Durante la puesta en servicio o tras una pérdida de ventilación de la sobrepresión, antes de activar cualquier instalación eléctrica no certificada como segura para el espacio en ausencia de presurización se prescribirá que:
  - .1 se proceda a la purga (como mínimo cinco renovaciones de aire) o se confirme con mediciones que es un espacio no potencialmente peligroso; y
  - .2 se presurice el espacio.
- .2 Se supervisará el funcionamiento de la ventilación de sobrepresión y, en caso de fallo:
  - .1 se emitirá una alarma sonora y visual en un lugar con dotación permanente; y
  - .2 si no es posible restablecer inmediatamente la sobrepresión, se procederá a la desactivación automática o programada de las instalaciones eléctricas de conformidad con una norma reconocida.

13.3.10 Los espacios no potencialmente peligrosos con aberturas de entrada que den a un espacio cerrado potencialmente peligroso tendrán una esclusa neumática, y el espacio potencialmente peligroso se mantendrá a subpresión en comparación con el espacio no potencialmente peligroso. Se vigilará el funcionamiento de la ventilación de extracción en el espacio potencialmente peligroso y, en caso de fallo:

- .1 se emitirá una alarma sonora y visual en un lugar con dotación permanente; y
- .2 si no es posible restablecer inmediatamente la subpresión, se procederá a la desactivación automática o programada de las instalaciones eléctricas en el espacio no potencialmente peligroso de conformidad con una norma reconocida.

#### **13.4 Reglas aplicables a los espacios de las conexiones de los tanques**

13.4.1 Los espacios de las conexiones de los tanques estarán dotados de un sistema eficaz de ventilación mecánica forzada del tipo de extracción. La capacidad mínima de ventilación será de 30 renovaciones de aire por hora. El ritmo de renovación del aire puede reducirse si se han instalado otros medios adecuados de protección contra explosiones. La equivalencia de las instalaciones alternativas se demostrará mediante una evaluación de los riesgos.

13.4.2 El tronco de ventilación del espacio de las conexiones de los tanques estará dotado de válvulas de mariposa con trincendios a prueba de fallos automáticas y aprobadas.

## 13.5 Reglas aplicables a los espacios de máquinas

13.5.1 El sistema de ventilación de los espacios de máquinas que contienen dispositivos de consumo alimentados por gas será independiente de todos los demás sistemas de ventilación.

13.5.2 Los espacios de máquinas protegidos por desactivación en caso de emergencia tendrán un sistema de ventilación de una capacidad mínima de 30 renovaciones de aire por hora. El sistema de ventilación garantizará una buena circulación de aire en todos los espacios y, en particular, la detección de cualquier formación de bolsas de gas en la sala. Como alternativa, podrán aceptarse medios merced a los cuales durante el funcionamiento normal los espacios de máquinas se ventilen con un mínimo de 15 renovaciones de aire por hora siempre que, si se detecta gas en el espacio de máquinas, se aumente automáticamente el número de renovaciones de aire a 30 por hora.

13.5.3 En el caso de espacios de máquinas protegidos por desactivación en caso de emergencia, los medios de ventilación proporcionarán una duplicación suficiente para garantizar un elevado nivel de ventilación disponible, según se defina en una norma aceptable para la Organización.

13.5.4 El número y la potencia de los ventiladores de las salas de máquinas protegidas por desactivación en caso de emergencia y de los sistemas de ventilación de doble tubería de las salas de máquinas protegidas contra los gases serán tales que la capacidad total de ventilación no se reducirá en más de un 50 % si deja de funcionar un ventilador con un circuito independiente del cuadro de distribución principal o del cuadro de distribución de emergencia o un grupo de ventiladores con un circuito común del cuadro de distribución principal o del de emergencia.

## 13.6 Reglas aplicables a los cuartos de preparación del combustible

13.6.1 Los cuartos de preparación del combustible estarán dotados de un sistema eficaz de ventilación mecánica del tipo de subpresión con una capacidad de ventilación mínima de 30 renovaciones de aire por hora.

13.6.2 El número y la potencia de los ventiladores será tal que la capacidad total de ventilación no se reducirá en más de un 50 % si deja de funcionar un ventilador con un circuito independiente del cuadro de distribución principal o del cuadro de distribución de emergencia o un grupo de ventiladores con un circuito común del cuadro de distribución principal o del de emergencia.

13.6.3 Los sistemas de ventilación de los cuartos de preparación del combustible deberán estar funcionando cuando lo estén las bombas o los compresores.

## 13.7 Reglas aplicables a los puestos de toma de combustible

Los puestos de toma de combustible que no están situados en cubiertas expuestas se ventilarán adecuadamente para garantizar que el vapor que se libere durante las operaciones de toma de combustible salga al exterior. Si la ventilación natural no es suficiente, se proporcionará ventilación mecánica de conformidad con la evaluación de riesgos prescrita en 8.3.1.1.

## 13.8 Reglas aplicables a los conductos y tuberías dobles

13.8.1 Los conductos y las tuberías dobles que contienen tuberías de gas estarán dotados de un sistema eficaz de ventilación mecánica del tipo de extracción con una capacidad mínima de 30 renovaciones de aire por hora. Esta regla no es aplicable a las tuberías dobles de la sala de máquinas si cumplen lo prescrito en 9.6.1.1.

13.8.2 El sistema de ventilación de las tuberías dobles y de los espacios de la unidad de la válvula de gas en salas de máquinas protegidas contra los gases será independiente de otros sistemas de ventilación.

13.8.3 La entrada de la ventilación para la tubería o el conducto de doble pared siempre estará situada en una zona no potencialmente peligrosa alejada de las fuentes de ignición. La abertura de la entrada estará dotada de una guarda de tela metálica adecuada y estará protegida contra la entrada de agua.

13.8.4 La capacidad de ventilación que se aplique a un conducto o una tubería de doble pared podrá ser inferior a 30 renovaciones de aire por hora si se garantiza una velocidad de flujo mínima de 3 m/s. La velocidad de flujo del conducto se calculará con las tuberías de combustible y otros componentes instalados.

## 14 INSTALACIONES ELÉCTRICAS

### 14.1 Objetivo

Este capítulo tiene por objetivo disponer instalaciones eléctricas que reduzcan al mínimo el riesgo de ignición en atmósferas inflamables.

### 14.2 Prescripciones funcionales

Este capítulo está relacionado con las prescripciones funcionales establecidas en 3.2.1, 3.2.2, 3.2.4, 3.2.7, 3.2.8, 3.2.11, 3.2.13 y 3.2.16 a 3.2.18. En particular, se dispone que:

Los sistemas de generación y de distribución eléctrica y los correspondientes sistemas de control se proyectarán de modo tal que un fallo aislado no traiga aparejada la pérdida de la capacidad para conservar las presiones de los tanques de combustible y la temperatura de la estructura del casco dentro de los límites normales de funcionamiento.

### 14.3 Reglas – Generalidades

14.3.1 Las instalaciones eléctricas cumplirán lo estipulado en una norma que sea como mínimo equivalente a normas aceptables a juicio de la Organización.

14.3.2 No se instalarán equipo ni cableado eléctrico en zonas potencialmente peligrosas, a menos que sean esenciales para fines operacionales o para aumentar la seguridad.

14.3.3 Cuando se instale equipo eléctrico en zonas potencialmente peligrosas, de conformidad con lo dispuesto en 14.3.2, dicho equipo se seleccionará, instalará y mantendrá de acuerdo con normas que sean como mínimo equivalentes a normas aceptables a juicio de la Organización.

El equipo para las zonas potencialmente peligrosas será evaluado y certificado o clasificado por una autoridad de realización de pruebas acreditada o por un organismo notificado reconocido por la Administración.

14.3.4 Las modalidades de fallos aislados y sus efectos en los sistemas de generación y de distribución eléctricas indicados en 14.2 se analizarán y documentarán de acuerdo con una norma que sea como mínimo equivalente a normas aceptables a juicio de la Organización.

14.3.5 El sistema de alumbrado de las zonas potencialmente peligrosas se dividirá entre dos circuitos derivados, por lo menos. Todos los interruptores y los dispositivos protectores interrumpirán todos los polos o fases y estarán instalados en zonas no potencialmente peligrosas.

14.3.6 La instalación a bordo de las unidades del equipo eléctrico será tal que se garantice la conexión segura a masa de dichas unidades al casco.

14.3.7 Se dispondrá lo necesario para que se emita una alarma cuando el nivel de líquido sea bajo y se desactiven automáticamente los motores si el nivel de líquido es extremadamente bajo. La desactivación automática podrá lograrse mediante la detección de una presión baja de descarga de la bomba, una intensidad de corriente baja de los motores o un nivel bajo de líquido. La desactivación de los motores emitirá una alarma sonora y visual en el puente de navegación, en un puesto de control central con dotación permanente o en un centro de seguridad a bordo.

14.3.8 En los sistemas de contención de combustible de gas licuado se podrán instalar motores de bombas de combustible sumergidas y sus cables de suministro. Los motores de las bombas de combustible deberán poderse aislar de su suministro eléctrico durante las operaciones de desgasificación.

14.3.9 En los espacios no potencialmente peligrosos con acceso desde una cubierta expuesta potencialmente peligrosa cuyo acceso esté protegido con una esclusa automática, el equipo eléctrico que no sea de un tipo certificado como seguro se desactivará cuando se produzca una pérdida de sobrepresión en el espacio.

14.3.10 Los equipos eléctricos para la propulsión, la generación de potencia y las operaciones de maniobra, fondeo y amarre, así como las bombas contraincendios de emergencia, que se encuentren en espacios protegidos por esclusas neumáticas, serán de un tipo certificado como seguro.

## 15 SISTEMAS DE CONTROL, VIGILANCIA Y SEGURIDAD

### 15.1 Objetivo

El objetivo de este capítulo es disponer la organización de los sistemas de control, vigilancia y seguridad que respaldan el funcionamiento eficaz y seguro de las instalaciones alimentadas con gas tratadas en otros capítulos del presente código.

### 15.2 Prescripciones funcionales

Este capítulo está relacionado con las prescripciones funcionales establecidas en 3.2.1, 3.2.2, 3.2.11, 3.2.13 a 3.2.15, 3.2.17 y 3.2.18. En particular, se dispone que:

- .1 los sistemas de control, vigilancia y seguridad de las instalaciones alimentadas con gas se dispondrán de tal manera que, en caso de que se produzca un fallo aislado, la potencia remanente para la propulsión y la generación eléctrica se ajuste a lo estipulado en 9.3.1;

- .2 se dispondrá un sistema de seguridad de gas que cierre automáticamente el sistema de suministro de gas cuando se produzca un fallo en los sistemas enumerados en el cuadro 1 y se registren condiciones defectuosas que puedan evolucionar con demasiada rapidez para una intervención manual;
- .3 en el caso de grupos de máquinas protegidas por desactivación en caso de emergencia, cuando se produzca una fuga de gas, el sistema de seguridad cerrará el suministro de gas y desconectará todos los equipos eléctricos del espacio de máquinas que sean de un tipo no certificado como seguro;
- .4 las funciones de seguridad se configurarán en un sistema especial de seguridad de gas que sea independiente del sistema de control de gas, a fin de evitar posibles fallos por causas comunes. Se incluyen aquí los suministros de potencia y las señales de entrada y de salida;
- .5 los sistemas de seguridad, incluida la instrumentación de medición y control, se dispondrán de manera que se eviten las desactivaciones espurias, por ejemplo, como resultado de un detector de gas defectuoso o de la ruptura de un cable en un bucle detector; y
- .6 cuando dos o más sistemas de suministro de gas deban cumplir las reglas, cada sistema estará dotado de su propio conjunto de sistemas independientes de control del gas y de seguridad del gas.

### 15.3 Reglas – Generalidades

15.3.1 Se instalarán dispositivos de instrumentación adecuados para medir en el lugar y a distancia los parámetros esenciales a fin de garantizar una gestión segura de todo el equipo de combustible de gas, incluida la toma de combustible.

15.3.2 Se dispondrá un pozo de sentina en cada espacio de las conexiones de un tanque independiente de almacenamiento de gas licuado, con un indicador de nivel y un sensor de temperatura. Cuando se alcance un nivel alto en el pozo de sentina se emitirá una alarma. En caso de detección de baja temperatura se activará el sistema de seguridad.

15.3.3 En el caso de tanques que no estén instalados permanentemente en el buque se facilitará un sistema de vigilancia similar al de los tanques instalados permanentemente.

### 15.4 Reglas aplicables a la vigilancia de la toma de combustible y los tanques de combustible de gas licuado

#### 15.4.1 Indicadores de nivel de los tanques de combustible de gas licuado

- .1 Todo tanque de combustible de gas licuado irá provisto de uno o varios dispositivos indicadores del nivel de líquido, concebidos para garantizar la obtención de una lectura del nivel siempre que el tanque de gas licuado esté en funcionamiento. Estos dispositivos estarán proyectados para funcionar en toda la gama de presiones de proyecto del tanque de combustible de gas licuado y a temperaturas comprendidas en la gama de temperaturas de funcionamiento del combustible.
- .2 Cuando haya instalado sólo un indicador del nivel de líquido, éste estará dispuesto de manera que pueda mantenerse en condiciones operativas sin necesidad de vaciar o desgasificar el tanque.

- .3 Los indicadores del nivel de líquido de los tanques de combustible de gas licuado podrán ser de los tipos indicados a continuación:
  - .1 dispositivos indirectos, que determinen la cantidad de combustible utilizando medios tales como el pesaje o las mediciones de flujo en línea; o
  - .2 dispositivos cerrados que no penetran en el tanque de combustible de gas licuado, como los que utilizan radioisótopos o ultrasonidos.

#### 15.4.2 Control de reboses

- .1 Todo tanque de combustible de gas licuado irá provisto de una alarma de nivel alto de líquido que funciona independientemente de los demás indicadores de nivel de líquido y que, cuando se activa, emite una señal sonora y visual.
- .2 Un sensor adicional que funcione independientemente de la alarma de alto nivel de líquido accionará automáticamente una válvula de cierre de tal forma que evite una presión excesiva de líquido en el conducto de toma de combustible e impida que el tanque de combustible de gas licuado se llene de líquido.
- .3 Será posible verificar la posición de los sensores en el tanque de combustible de gas licuado antes de ponerlos en servicio. La primera vez que haya carga plena tras la entrega y después de cada entrada en dique seco se efectuará una prueba de las alarmas de nivel alto elevando el nivel de líquido de combustible en el tanque de combustible de gas licuado hasta el punto de alarma.
- .4 Todos los elementos de las alarmas de nivel, incluidos el circuito eléctrico y el sensor o los sensores de las alarmas de alto nivel y de llenado excesivo, deberán poder someterse a pruebas de funcionamiento. Los sistemas se someterán a prueba antes del funcionamiento con combustible, conforme a lo dispuesto en 18.4.3.
- .5 Cuando se faciliten medios para neutralizar el sistema de control de reboses, dichos medios serán tales que impidan el funcionamiento involuntario. Cuando se produzca dicha neutralización, se emitirá una señal visual continua en el puente de navegación, en un puesto de control central con dotación permanente o en el centro de seguridad de a bordo.

15.4.3 El espacio para vapor de cada tanque de combustible de gas licuado irá provisto de un indicador de lectura directa. Además, se facilitará una indicación indirecta en el puente de navegación, en un puesto de control central con dotación permanente o en el centro de seguridad de a bordo.

15.4.4 En los indicadores de presión se marcarán claramente las presiones máxima y mínima admisibles en el tanque de combustible de gas licuado.

15.4.5 En el puente de navegación y en un puesto de control central con dotación permanente o en el centro de seguridad de a bordo se instalará una alarma de alta presión y, si se requiere protección contra el vacío, una alarma de baja presión. Las alarmas se activarán antes de que se alcancen las presiones establecidas de las válvulas de seguridad.

15.4.6 Cada conducto de descarga de las bombas de combustible y cada colector de combustible líquido y de vapor estarán provistos de un indicador de presión local como mínimo.

15.4.7 Se dispondrán indicadores de la presión del colector, de lectura local, que indiquen la presión existente entre las válvulas colectoras del buque y las conexiones de los conductos flexibles a tierra.

15.4.8 Los espacios de bodega de almacenamiento de combustible y los espacios interbarreras carentes de conexiones abiertas a la atmósfera estarán provistos de indicadores de presión.

15.4.9 Al menos uno de los indicadores de presión instalados deberá poder indicar la gama completa de presiones de funcionamiento.

15.4.10 En el caso de los motores de las bombas de combustible sumergidas y sus cables de suministro, se dispondrá lo necesario para que se emita una alarma cuando el nivel de líquido sea bajo y se desactiven automáticamente los motores si el nivel de líquido es extremadamente bajo. La desactivación automática podrá lograrse mediante la detección de una presión baja de descarga de la bomba, una intensidad de corriente baja de los motores o un nivel bajo de líquido. La desactivación de los motores emitirá una alarma sonora y visual en el puente de navegación, en un puesto de control central con dotación permanente o en un centro de seguridad a bordo.

15.4.11 Con la excepción de los tanques independientes de tipo C dotados de sistemas de aislamiento por vacío y de unidades de descarga de combustible y aumento de presión, todos los tanques de combustible deberán estar equipados con dispositivos que midan e indiquen la temperatura del combustible en un mínimo de tres puntos; en el fondo, en la sección media y en la parte superior del tanque, por debajo del nivel máximo admisible de líquido.

## **15.5 Reglas aplicables al control de la toma de combustible**

15.5.1 Deberá ser posible controlar la toma de combustible desde un lugar seguro, alejado del puesto de toma de combustible. En este lugar se vigilarán la presión del tanque, la temperatura del tanque, si así se dispone en el párrafo 15.4.11, y el nivel del tanque, y además será posible accionar las válvulas de mando a distancia prescritas en 8.5.3 y 11.5.7. Desde él también se podrá comprobar la activación de la alarma de llenado excesivo y la desactivación automática.

15.5.2 Si deja de funcionar la ventilación en el conducto que encierra las tuberías de la toma de gas, se activará una alarma sonora y visual en el puesto de control de la toma de combustible; véase también 15.8.

15.5.3 Si se detecta gas en el conducto que encierra las tuberías de toma de combustible, en el puesto de control de la toma de combustible se activará una alarma visual y sonora y se procederá a la desactivación de emergencia.

## **15.6 Reglas aplicables a la vigilancia de los compresores de gas**

15.6.1 Los compresores de gas dispondrán de alarmas sonoras y visuales instaladas tanto en el puente de navegación como en la sala de control de máquinas. Como mínimo, estas alarmas abarcarán una presión baja de entrada de gas, una presión baja de salida de gas, una presión alta de salida de gas y el funcionamiento de los compresores.

15.6.2 Se proveerán medios para la vigilancia de la temperatura de los prensaestopas y cojinetes de los mamparos, que automáticamente emitirán una alarma visual y sonora continua en el puente de navegación o en un puesto de control central con dotación permanente.

### 15.7 Reglas aplicables a la vigilancia de los motores de gas

Además de los instrumentos prescritos en la parte C del capítulo II-1 del Convenio SOLAS, se instalarán indicadores en el puente de navegación, la sala de control de máquinas y la plataforma de maniobras en relación con:

- .1 el funcionamiento del motor, en el caso de motores sólo de gas; o
- .2 el funcionamiento y la modalidad de funcionamiento del motor, en el caso de los motores bicomcombustible.

### 15.8 Reglas aplicables a la detección de gas

15.8.1 Se instalarán detectores de gas permanentes:

- .1 en los espacios de las conexiones de los tanques;
- .2 en todos los conductos que encierran tuberías de combustible;
- .3 en los espacios de máquinas que contengan tuberías de gas, equipos de gas o dispositivos de consumo de gas;
- .4 en las salas de los compresores y los cuartos de preparación del combustible;
- .5 en otros espacios cerrados que contengan tuberías de combustible u otros equipos de combustible sin conductos;
- .6 en otros espacios cerrados o semicerrados en que puedan acumularse vapores de combustible, incluidos los espacios interbarreras y los espacios de bodega de almacenamiento de combustible de tanques independientes que no sean del tipo C;
- .7 en las esclusas neumáticas;
- .8 en los tanques de expansión de los circuitos de calefacción por gases;
- .9 en las salas de motores relacionadas con los sistemas de combustible; y
- .10 en las entradas de ventilación a los espacios de alojamiento y de máquinas si así lo exige la evaluación de riesgos prescrita en 4.2.

15.8.2 Se instalarán sistemas de detección de gases duplicados en todos los espacios de máquinas protegidos por desactivación en caso de emergencia.

15.8.3 El número de detectores instalados en cada espacio se determinará en relación con el tamaño, la disposición y la ventilación del espacio en cuestión.

15.8.4 El equipo de detección estará situado en los puntos en los que se pueda acumular gas y en las salidas de ventilación. Se llevará a cabo un análisis de dispersión de gases o una prueba física de humo para determinar cuál es la mejor ubicación.

15.8.5 Los equipos detectores de gas se proyectarán, instalarán y someterán a prueba de acuerdo con una norma reconocida.

15.8.6 Se activará una alarma sonora y visible cuando se registre una concentración de vapor de gas del 20 % del límite inferior de explosividad. El sistema de seguridad se activará cuando se alcance el 40 % del límite en dos detectores (véase la nota a pie de página 1 del cuadro 1).

15.8.7 En el caso de los conductos ventilados que encierren tuberías de gas en los espacios de máquinas que contienen motores de gas, el límite de la alarma podrá fijarse en el 30 % del límite inferior de explosividad. El sistema de seguridad se activará cuando se alcance el 60 % del límite en dos detectores (véase la nota a pie de página 1 del cuadro 1).

15.8.8 Las alarmas sonoras y visuales del equipo de detección de gas se encontrarán en el puente de navegación o en el puesto de control central con dotación permanente.

15.8.9 La detección de gas prescrita en esta sección será continua e instantánea.

## **15.9 Reglas aplicables a la detección de incendios**

En el cuadro 1, más abajo, figuran las medidas de seguridad necesarias en el momento en que se detecta un incendio en los espacios de máquinas que contengan motores de gas y en los recintos que contengan tanques independientes para los espacios de bodega de almacenamiento de combustible.

## **15.10 Reglas aplicables a la ventilación**

15.10.1 Toda disminución de la capacidad de ventilación prescrita activará una alarma sonora y visual en el puente de navegación o en un puesto de control central con dotación permanente o un centro de seguridad.

15.10.2 En el caso de espacios de máquinas protegidos por desactivación en caso de emergencia, el sistema de seguridad se activará ante la interrupción de la ventilación en la sala de máquinas.

## **15.11 Reglas aplicables a las funciones de seguridad de los sistemas de suministro de combustible**

15.11.1 Si se interrumpe el suministro de combustible debido a la activación de una válvula automática, dicho suministro no volverá a abrirse hasta que se haya establecido la causa de la interrupción y se hayan adoptado las precauciones necesarias. En el puesto de operaciones se fijará un aviso con instrucciones a tal efecto para las válvulas de cierre de las tuberías de suministro de gas.

15.11.2 Si se produce una fuga de combustible que dé lugar a la interrupción del suministro de combustible, el suministro no se restablecerá hasta que se haya encontrado la fuga y efectuado la reparación necesaria. Se fijarán instrucciones a tal efecto en un lugar bien visible del espacio de máquinas.

15.11.3 En los espacios de máquinas que contengan motores de gas se colocará un aviso de precaución o un cartel permanente que indique que, cuando el motor o los motores estén funcionando con gas, no se levantarán objetos pesados que pudieran entrañar un peligro de avería para las tuberías de gas.

15.11.4 Los compresores, las bombas y el suministro de combustible estarán dispuestos de modo tal que la parada de emergencia manual a distancia se pueda realizar desde los siguientes puntos, según corresponda:

- .1 el puente de navegación;
- .2 la sala de control de la carga;
- .3 el centro de seguridad de a bordo;
- .4 la sala de control de máquinas;
- .5 el puesto de control contraincendios; y
- .6 en un lugar adyacente a la salida de los cuartos de preparación del combustible.

El compresor de gas también estará dispuesto de modo que se pueda efectuar la parada de emergencia manual local.

**Cuadro 1: Vigilancia del sistema de suministro de gas a los motores**

| Parámetro   | Alarma | Cierre automático de la válvula del tanque <sup>6)</sup> | Cierre automático del suministro de gas a los espacios de máquinas que contengan motores de gas | Observaciones |
|---|--------|--|---|---------------|
| Detección de gas en el espacio de las conexiones de los tanques al 20 % del límite inferior de explosividad                                 | X      |  |   |               |
| Detección de gas en dos detectores <sup>1)</sup> en el espacio de las conexiones de los tanques al 40 % del límite inferior de explosividad | X      | X  |   |               |
| Detección de incendio en el espacio de bodega de almacenamiento de combustible  | X      |  |   |               |
| Detección de incendio en el tronco de ventilación para el sistema de contención de combustible situado bajo cubierta                        | X      |  |   |               |
| Alto nivel en el pozo de sentina en el espacio de las conexiones de los tanques   | X      |  |   |               |
| Baja temperatura en el pozo de sentina en el espacio de las conexiones de los tanques   | X      | X  |   |               |

| Parámetro  | Alarma | Cierre automático de la válvula del tanque <sup>6)</sup> | Cierre automático del suministro de gas a los espacios de máquinas que contengan motores de gas | Observaciones  |
|--|--------|--|---|--|
| Detección de gas en el conducto entre el tanque y el espacio de máquinas que contiene motores de gas al 20 % del límite inferior de explosividad   | X      |  |   |  |
| Detección de gas en dos detectores <sup>1)</sup> del conducto entre el tanque y el espacio de máquinas que contiene motores de gas al 40 % del límite inferior de explosividad                       | X      | X <sup>2)</sup>  |   |  |
| Detección de gas en el cuarto de preparación del combustible al 20 % del límite inferior de explosividad   | X      |  |   |  |
| Detección de gas en dos detectores <sup>1)</sup> en el cuarto de preparación del combustible al 40 % del límite inferior de explosividad   | X      | X <sup>2)</sup>  |   |  |
| Detección de gas en el conducto dentro del espacio de máquinas que contiene motores de gas al 30 % del límite inferior de explosividad   | X      |  |   | Si se instalan tuberías dobles en el espacio de máquinas que contiene motores de gas                                     |
| Detección de gas en dos detectores <sup>1)</sup> del conducto dentro del espacio de máquinas que contiene motores de gas al 60 % del límite inferior de explosividad                                 | X      |  | X <sup>3)</sup>   | Si se instalan tuberías dobles en el espacio de máquinas que contiene motores de gas                                     |
| Detección de gas en el espacio de máquinas protegido por desactivación en caso de emergencia que contiene motores de gas al 20 % del límite inferior de explosividad                                 | X      |  |   |  |
| Detección de gas en dos detectores <sup>1)</sup> en el espacio de máquinas protegido por desactivación en caso de emergencia que contiene motores de gas al 40 % del límite inferior de explosividad | X      |  | X   | También desconectará equipos eléctricos no certificados como seguros del espacio de máquinas que contiene motores de gas |
| Interrupción de la ventilación en el conducto entre el tanque y el espacio de máquinas que contiene motores de gas   | X      |  | X <sup>2)</sup>   |  |

| Parámetro   | Alarma | Cierre automático de la válvula del tanque <sup>6)</sup> | Cierre automático del suministro de gas a los espacios de máquinas que contengan motores de gas | Observaciones  |
|---|--------|--|---|--|
| Interrupción de la ventilación en el conducto dentro del espacio de máquinas que contiene motores de gas <sup>5)</sup>  | X      |  | X <sup>3)</sup>   | Si se instalan tuberías dobles en el espacio de máquinas que contiene motores de gas |
| Interrupción de la ventilación en el espacio de máquinas protegido por desactivación en caso de emergencia que contiene motores de gas  | X      |  | X   |  |
| Detección de incendio en el espacio de máquinas que contiene motores de gas   | X      |  |   |  |
| Presión anormal de gas en la tubería de suministro de gas   | X      |  |   |  |
| Fallo del medio accionador del mando de las válvulas  | X      |  | X <sup>4)</sup>   | De acción retardada, según sea necesario   |
| Parada automática del motor (fallo del motor)   | X      |  | X <sup>4)</sup>   |  |
| Parada de emergencia del motor de activación manual   | X      |  | X   |  |
| <p>1) Se requieren dos detectores de gas independientes situados uno cerca del otro a fines de duplicación. Si el detector de gas es del tipo de vigilancia automática, se podrá permitir la instalación de un solo detector.</p> <p>2) Si el tanque suministra gas a más de un motor y las distintas tuberías de suministro están completamente separadas y emplazadas en conductos separados, y las válvulas maestras están instaladas fuera del conducto, se deberá cerrar únicamente la válvula maestra de la tubería de suministro del conducto en el que se detectan el gas o la interrupción de la ventilación.</p> <p>3) Si el gas se suministra a más de un motor y las distintas tuberías de suministro están completamente separadas y emplazadas en conductos separados, y las válvulas maestras están instaladas fuera del conducto y fuera del espacio de máquinas que contiene motores de gas, se deberá cerrar únicamente la válvula maestra de la tubería de suministro del conducto en el que se detectan el gas o la interrupción de la ventilación.</p> <p>4) Se cerrarán solamente las válvulas de doble bloqueo y purga.</p> <p>5) Si el conducto está protegido por gas inerte (véase 9.6.1.1), la pérdida de sobrepresión de gas inerte conllevará la adopción de las mismas medidas que se indican en este cuadro.</p> <p>6) Las válvulas mencionadas en 9.4.1</p> |        |  |   |  |

## ANEXO

## NORMA PARA LA UTILIZACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE ESTADO LÍMITE EN EL PROYECTO DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN DE COMBUSTIBLE DE CARACTERÍSTICAS INNOVADORAS

**1 GENERALIDADES**

1.1 La finalidad de la presente norma es facilitar procedimientos y parámetros de proyecto pertinentes del proyecto de estado límite de los sistemas de contención de combustible de características innovadoras, de conformidad con lo dispuesto en la sección 6.4.16.

1.2 El proyecto de estado límite es un método sistemático en el que cada elemento estructural se evalúa con respecto a posibles modalidades de fallo relacionadas con las condiciones de proyecto señaladas en 6.4.1.6. El estado límite puede definirse como la condición más allá de la cual la estructura, o una parte de la estructura, deja de cumplir las prescripciones.

1.3 Los estados límite se dividen en las tres categorías siguientes:

- .1 estados límite de rotura, que corresponden a la capacidad máxima de transporte de carga o, en algunos casos, al esfuerzo o inestabilidad máximos aplicables en la estructura consecuencia del pandeo y el hundimiento plástico, en condición sin avería;
- .2 estados límite de fatiga, que corresponden a la degradación debida al efecto de la carga cíclica; y
- .3 estados límite de accidente, que guardan relación con la capacidad de resistencia de la estructura en caso de accidentes.

1.4 Se cumplirán, según proceda, las disposiciones de la sección 6.4.1 hasta la sección 6.4.1.4, en función del concepto del sistema de contención de combustible.

**2 FORMATO DE PROYECTO**

2.1 El formato de proyecto de la presente norma se basa en el formato de proyecto de los factores de resistencia y carga. El principio fundamental del formato de proyecto de los factores de resistencia y carga consiste en verificar que los efectos de la carga de proyecto,  $L_d$ , no superan las resistencias de proyecto,  $R_d$ , para ninguna de las modalidades de fallo examinadas en cualquier supuesto:

$$L_d \leq R_d$$

La carga de proyecto ( $F_{dk}$ ) se obtiene multiplicando la carga característica por un factor de carga pertinente para la categoría de carga especificada:

$$F_{dk} = \gamma_f \cdot F_k$$

donde:

$\gamma_f$  es el factor de carga; y

$F_k$  es la carga característica especificada en las secciones 6.4.9 a 6.4.12.

El efecto de la carga de proyecto,  $L_d$  (por ejemplo, esfuerzos, tensiones, desplazamientos y vibraciones) es el efecto de la carga combinada más desfavorable derivado de las cargas de proyecto, y puede expresarse mediante la siguiente fórmula:

$$L_d = q(F_{d1}, F_{d2}, \dots, F_{dN})$$

donde  $q$  es la relación funcional entre la carga y el efecto de la carga determinado mediante análisis estructurales.

La resistencia de proyecto ( $R_d$ ) se determina como se indica a continuación:

$$R_d = \frac{R_K}{\gamma_R \cdot \gamma_C}$$

donde:

$R_K$  es la resistencia característica. En el caso de los materiales contemplados en el capítulo 7, puede ser, entre otras cosas, el límite elástico mínimo especificado, la resistencia mínima especificada a la tracción, la resistencia plástica de las secciones transversales y la resistencia máxima al pandeo;

$\gamma_R$  es el factor de resistencia, definido como  $\gamma_R = \gamma_m \cdot \gamma_s$ ;

$\gamma_m$  es el factor de resistencia parcial para tener en cuenta la distribución probabilística de las propiedades del material (factor del material);

$\gamma_s$  es el factor de resistencia parcial para tener en cuenta las incertidumbres acerca de la capacidad de la estructura, tales como la calidad de la construcción y el método considerado para determinar la capacidad, incluida la precisión del análisis; y

$\gamma_C$  es el factor del tipo de consecuencia, que refleja los posibles resultados de un fallo en relación con la descarga de combustible y las posibles lesiones a personas.

2.2 En el proyecto del sistema de contención de combustible se tendrán en cuenta las posibles consecuencias de los fallos. Los tipos de consecuencia aparecen definidos en el cuadro 1 para especificar las consecuencias de un fallo cuando la modalidad de fallo está relacionada con el estado límite de rotura, el estado límite de fatiga o el estado límite de accidente.

**Cuadro 1: Tipos de consecuencia**

| Tipo de consecuencia | Definición  |
|----------------------|---|
| Baja                 | El fallo entraña una descarga reducida de combustible   |
| Media                | El fallo entraña una descarga de combustible y un riesgo de lesiones a personas                                     |
| Alta                 | El fallo entraña una descarga considerable de combustible y un gran riesgo de lesiones a personas/víctimas mortales |

### 3 ANÁLISIS PRESCRITOS

3.1 Se llevarán a cabo análisis de elementos finitos en tres dimensiones como un modelo integrado del tanque y el casco del buque, incluidos los soportes y el sistema de sujeción, según proceda. Se determinarán todas las modalidades de fallo a fin de evitar fallos imprevistos. Se llevarán a cabo análisis hidrodinámicos para determinar las aceleraciones y los movimientos específicos del buque en olas irregulares, así como la respuesta del buque y de sus sistemas de contención de combustible a estas fuerzas y movimientos.

3.2 Se llevarán a cabo análisis de resistencia al pandeo de los tanques de combustible sujetos a presión externa y otras cargas que causan esfuerzos de compresión, de conformidad con normas reconocidas. El método tendrá en cuenta debidamente la diferencia entre el esfuerzo de pandeo teórico y el práctico como resultado de la deformación de las planchas, la desalineación de sus bordes, la falta de rectitud, la ovalidad y la desviación con respecto a la forma circular pura a lo largo de un arco o una cuerda específicos, según proceda.

3.3 Se llevarán a cabo análisis de fatiga y propagación de fisuras de conformidad con el párrafo 5.1 de la presente norma.

### 4 ESTADOS LÍMITE DE ROTURA

4.1 La resistencia estructural puede determinarse realizando pruebas o análisis integrales teniendo en cuenta las propiedades elásticas y plásticas de los materiales. Se introducirán márgenes de seguridad para la resistencia a la rotura mediante factores parciales de seguridad que tengan en cuenta la contribución de la naturaleza estocástica de las cargas y de la resistencia (cargas dinámicas, cargas de presión, cargas de gravedad, resistencia del material y capacidades de pandeo).

4.2 En el análisis se considerarán combinaciones adecuadas de cargas permanentes, funcionales y ambientales, incluidas las cargas debidas al chapoteo del líquido. Para la evaluación de los estados límite de rotura se utilizarán al menos dos combinaciones de carga con los factores parciales de carga que figuran en el cuadro 2.

**Cuadro 2: factores parciales de carga**

| Combinación de cargas | Cargas permanentes | Cargas funcionales | Cargas ambientales |
|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 'a'                   | 1,1                | 1,1                | 0,7                |
| 'b'                   | 1,0                | 1,0                | 1,3                |

Los factores de carga para las cargas permanentes y funcionales en la combinación de carga 'a' son pertinentes en el caso de las cargas habitualmente bien controladas y/o especificadas aplicables a los sistemas de contención de combustible, tales como la presión de vapor, el peso del combustible, el propio peso del sistema, etc. Los factores de carga más elevados pueden ser pertinentes para las cargas permanentes y funcionales cuando la variabilidad inherente y/o las incertidumbres en los modelos de predicción son más elevadas.

4.3 En el caso de las cargas debidas al chapoteo del líquido, la Administración puede exigir un factor de carga mayor, en función de la fiabilidad del método de cálculo.

4.4 En los casos en que se considere que el fallo estructural del sistema de contención de combustible entraña un riesgo elevado de lesiones a personas y una descarga considerable de combustible, el factor del tipo de consecuencia que se establecerá será  $\gamma_c = 1,2$ . Dicho valor podrá reducirse si se justifica mediante un análisis de riesgos y la

aprobación de la Administración. El análisis de riesgos tendrá en cuenta, entre otros factores, la provisión de una barrera secundaria total o parcial a fin de proteger la estructura del casco de fugas y riesgos menores relacionados con el combustible previsto. A la inversa, la Administración puede fijar valores más elevados, por ejemplo, en el caso de buques que transporten combustibles potencialmente más peligrosos o cuya presión sea más elevada. En todo caso, el factor del tipo de consecuencia no será nunca inferior a 1,0.

4.5 Los factores de carga y de resistencia utilizados serán tales que el nivel de seguridad será equivalente al de los sistemas de contención de combustible descritos en las secciones 6.4.2.1 a 6.4.2.5. Esta medida puede llevarse a cabo calibrando los factores con respecto a proyectos satisfactorios conocidos.

4.6 El factor del material  $\gamma_m$  reflejará en general la distribución estadística de las propiedades mecánicas del material y ha de interpretarse junto con las propiedades mecánicas características especificadas. En el caso de los materiales definidos en el capítulo 6 del presente código, el factor del material  $\gamma_m$  puede considerarse igual a:

- 1,1 cuando las propiedades mecánicas características especificadas por la Administración representen normalmente el cuantil del 2,5 % inferior en la distribución estadística de las propiedades mecánicas; o
- 1,0 cuando las propiedades mecánicas características especificadas por la Administración representen un cuantil suficientemente pequeño de modo que la probabilidad de que las propiedades mecánicas sean inferiores a las especificadas sea extremadamente baja y pueda descartarse por insignificante.

4.7 Normalmente, los factores de resistencia parcial ( $\gamma_{si}$ ) se establecerán tomando como base las incertidumbres relativas a la capacidad de la estructura, teniendo en cuenta las tolerancias de la construcción, la calidad de la construcción, la precisión del método de análisis aplicado, etc.

4.7.1 En el caso de los proyectos para hacer frente a una deformación plástica excesiva en los que se utilicen los criterios relativos al estado límite que se indican en el párrafo 4.8 de la presente norma, los factores de resistencia parcial ( $\gamma_{si}$ ) se calcularán de la manera siguiente:

$$\gamma_{s1} = 0,76 \cdot \frac{B}{\kappa_1}$$

$$\gamma_{s2} = 0,76 \cdot \frac{D}{\kappa_2}$$

$$\kappa_1 = \text{Min} \left( \frac{R_m}{R_e} \cdot \frac{B}{A}; 1,0 \right)$$

$$\kappa_2 = \text{Min} \left( \frac{R_m}{R_e} \cdot \frac{D}{C}; 1,0 \right)$$

Los factores A, B, C y D están definidos en 6.4.15.2.3.1.  $R_m$  y  $R_e$  están definidos en 6.4.12.1.1.3.

Los factores de resistencia parcial anteriores son el resultado de la calibración en tanques independientes de tipo B convencionales.

#### 4.8 Proyecto para hacer frente a una deformación plástica excesiva

4.8.1 Los criterios de aceptación del esfuerzo que se indican *infra* se refieren a los análisis del esfuerzo elástico.

4.8.2 Las partes de los sistemas de contención de combustible en los que las cargas se transporten fundamentalmente mediante la respuesta de la membrana en la estructura cumplirán los siguientes criterios relativos al estado límite:

$$\begin{aligned}\sigma_m &\leq f \\ \sigma_L &\leq 1,5f \\ \sigma_b &\leq 1,5F \\ \sigma_L + \sigma_b &\leq 1,5F \\ \sigma_m + \sigma_b &\leq 1,5F \\ \sigma_m + \sigma_b + \sigma_g &\leq 3,0F \\ \sigma_L + \sigma_b + \sigma_g &\leq 3,0F\end{aligned}$$

donde:

$\sigma_m$  = esfuerzo de membrana primario general equivalente

$\sigma_L$  = esfuerzo de membrana primario local equivalente

$\sigma_b$  = esfuerzo flector primario equivalente

$\sigma_g$  = esfuerzo secundario equivalente

$$f = \frac{R_e}{Y_{s1} \cdot Y_m \cdot Y_C}$$

$$F = \frac{R_e}{Y_{s2} \cdot Y_m \cdot Y_C}$$

#### Nota orientativa:

La suma de esfuerzos descrita anteriormente se realizará sumando cada componente del esfuerzo ( $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\tau_{xy}$ ), y el esfuerzo equivalente se calculará posteriormente a partir de las componentes del esfuerzo resultantes que se indican en el siguiente ejemplo:

$$\sigma_L + \sigma_b = \sqrt{(\sigma_{Lx} + \sigma_{bx})^2 - (\sigma_{Lx} + \sigma_{bx})(\sigma_{Ly} + \sigma_{by}) + (\sigma_{Ly} + \sigma_{by})^2 + 3(\tau_{Lxy} + \tau_{bxy})^2}$$

4.8.3 Las partes de los sistemas de contención de combustible en los que las cargas se transporten fundamentalmente mediante la flexión de vigas, rigidizadores y planchas cumplirán los siguientes criterios relativos al estado límite:

$$\sigma_{ms} + \sigma_{bp} \leq 1,25F \quad (\text{véanse las notas 1 y 2})$$

$$\sigma_{ms} + \sigma_{bp} + \sigma_{bs} \leq 1,25F \quad (\text{véase la nota 2})$$

$$\sigma_{ms} + \sigma_{bp} + \sigma_{bs} + \sigma_{bt} + \sigma_g \leq 3,0F$$

Nota 1: la suma del esfuerzo de membrana en la sección equivalente y del esfuerzo de membrana equivalente en la estructura primaria ( $\sigma_{ms} + \sigma_{bp}$ ) se obtendrá directamente a partir del análisis de elementos finitos en tres dimensiones.

Nota 2: La Administración puede modificar el coeficiente 1,25, teniendo en cuenta el concepto del proyecto, la configuración de la estructura y la metodología utilizada para el cálculo de los esfuerzos.

donde:

$\sigma_{ms}$  = esfuerzo de membrana en la sección equivalente en la estructura primaria

$\sigma_{bp}$  = esfuerzo de membrana equivalente en la estructura primaria y esfuerzo en las estructuras secundaria y terciaria ocasionados por la flexión de la estructura primaria

$\sigma_{bs}$  = esfuerzo flector en la sección en la estructura secundaria y esfuerzo en la estructura terciaria ocasionados por la flexión de la estructura secundaria

$\sigma_{bt}$  = esfuerzo flector en la sección en la estructura terciaria

$\sigma_g$  = esfuerzo secundario equivalente

$$f = \frac{R_e}{Y_{s1} \cdot Y_m \cdot Y_C}$$

$$F = \frac{R_e}{Y_{s2} \cdot Y_m \cdot Y_C}$$

Los esfuerzos  $\sigma_{ms}$ ,  $\sigma_{bp}$ ,  $\sigma_{bs}$  y  $\sigma_{bt}$  aparecen definidos en la sección 4.8.4.

**Nota orientativa:**

La suma de esfuerzos descrita anteriormente se realizará sumando cada componente del esfuerzo ( $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\tau_{xy}$ ), y el esfuerzo equivalente se calculará posteriormente a partir de las componentes del esfuerzo resultantes.

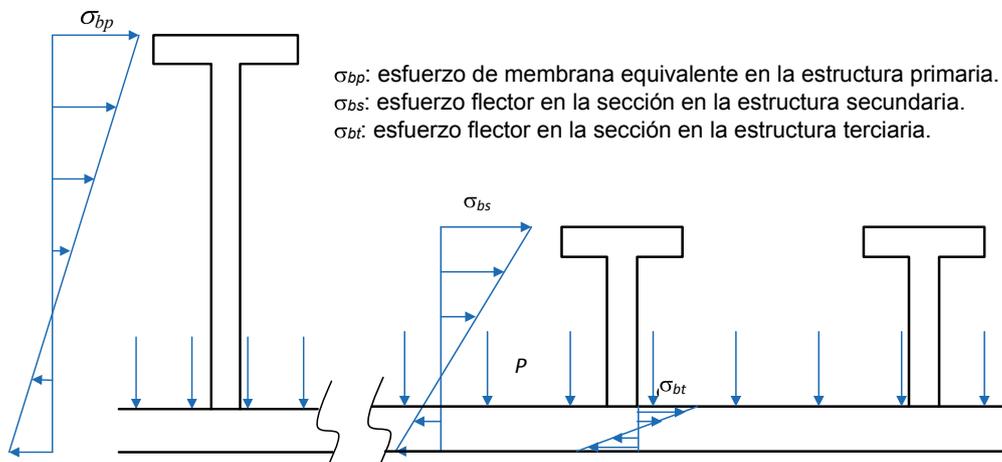
Las planchas del forro se proyectarán de conformidad con las prescripciones de la Administración. Cuando el esfuerzo de membrana sea considerable, también se tendrá debidamente en cuenta el efecto de ese esfuerzo en la capacidad de flexión de la plancha.

#### 4.8.4 Categorías de esfuerzos en la sección

El esfuerzo normal es la componente del esfuerzo perpendicular al plano de referencia.

El esfuerzo de membrana en la sección equivalente es la componente del esfuerzo normal que se distribuye uniformemente y equivale al valor medio del esfuerzo ejercido en la sección transversal de la estructura que se esté examinando. Si se trata de una sección de forro sencillo, el esfuerzo de membrana en la sección es idéntico al esfuerzo de membrana definido en el párrafo 4.8.2 de la presente norma.

El esfuerzo flector en la sección es la componente del esfuerzo normal que se distribuye linealmente por una sección estructural expuesta a una acción de flexión, tal como se ilustra en la figura 1.



**Figura 1: Definición de las tres categorías de esfuerzo en la sección (los esfuerzos  $\sigma_{bp}$  y  $\sigma_{bs}$  son perpendiculares a la sección transversal que se muestra en la figura)**

4.9 Se utilizarán los mismos factores  $\gamma_C$ ,  $\gamma_m$ ,  $\gamma_{si}$ , en el caso de los proyectos para hacer frente al pandeo, salvo que se indique lo contrario en la norma reconocida relativa al pandeo que se aplique. En todo caso, el nivel general de seguridad no será inferior al que proporcionan estos factores.

## 5 ESTADOS LÍMITE DE FATIGA

5.1 La condición de proyecto sobre fatiga descrita en 6.4.12.2 se cumplirá, según proceda, en función del concepto del sistema de contención de combustible. En el caso de los sistemas de contención de combustible proyectados de conformidad con 6.4.16 y con la presente norma se ha de realizar un análisis de fatiga.

5.2 El factor de carga para el estado límite de fatiga se considerará igual a 1,0 para todas las categorías de carga.

5.3 El factor del tipo de consecuencia ( $\gamma_C$ ) y el factor de resistencia ( $\gamma_R$ ) se considerarán equivalentes a 1,0.

5.4 Se calculará la avería por fatiga según se describe en 6.4.12.2.2 a 6.4.12.2.5. La relación de avería por fatiga acumulada calculada para los sistemas de contención de combustible será igual o inferior a los valores que se indican en el cuadro 3.

**Cuadro 3: relación máxima admisible de avería por fatiga acumulada**

| $C_w$ | Tipo de consecuencia |       |      |
|-------|----------------------|-------|------|
|       | Baja                 | Media | Alta |
|       | 1,0                  | 0,5   | 0,5* |

Nota\*: se utilizará el valor inferior de conformidad con lo dispuesto en 6.4.12.2.7 a 6.4.12.2.9, en función de la detectabilidad del defecto o fisura, etc.

5.5 La Administración puede establecer valores inferiores.

5.6 De conformidad con lo dispuesto en 6.4.12.2.6 a 6.4.12.2.9, se deben realizar análisis sobre la propagación de fisuras. Dichos análisis se llevarán a cabo de conformidad con los métodos establecidos en una norma reconocida por la Administración.

## 6 ESTADOS LÍMITE DE ACCIDENTE

6.1 Se observará, según proceda, la condición de proyecto sobre accidentes descrita en 6.4.12.3, en función del concepto del sistema de contención de combustible.

6.2 Podrán aceptarse factores de carga y de resistencia menos estrictos en comparación con el estado límite de rotura, teniendo en cuenta que se pueden aceptar averías y deformaciones siempre que no tengan un efecto adverso en los supuestos de accidente.

6.3 Se considerará que los factores de carga para el estado límite de accidente serán equivalentes a 1,0 para las cargas permanentes, funcionales y ambientales.

6.4 No es necesario que las cargas que se indican en 6.4.9.3.3.8 y 6.4.9.5 se combinen entre sí ni con las cargas ambientales definidas en 6.4.9.4.

6.5 Normalmente, se considerará que el factor de resistencia  $\gamma_R$  equivale a 1,0.

6.6 Normalmente, se considerará que el factor del tipo de consecuencia,  $\gamma_C$ , es el que se define en el párrafo 4.4 de la presente norma, pero podrá aceptarse un valor menos estricto teniendo en cuenta la naturaleza del supuesto de accidente.

6.7 Normalmente, se considerará que la resistencia característica,  $R_K$ , es equivalente a la del estado límite de rotura, pero podrá aceptarse un valor menos estricto teniendo en cuenta la naturaleza del supuesto de accidente.

6.8 Se establecerán otros supuestos pertinentes de accidente basándose en un análisis de riesgos.

## 7 PRUEBAS

7.1 Los sistemas de contención de combustible proyectados de conformidad con la presente norma se someterán a prueba en la medida que se prescribe en 16.2, según proceda, en función del concepto del sistema de contención de combustible.

## PARTE B-1

En el contexto de las reglas de esta parte, *combustible* significa gas natural, en estado licuado o gaseoso.

**16 FABRICACIÓN, CALIDAD Y PRUEBAS****16.1 Generalidades**

16.1.1 La fabricación, las pruebas, las inspecciones y la documentación se ajustarán a normas reconocidas y a las reglas que se indican en este código.

16.1.2 Cuando se especifique o se requiera un termotratamiento postsoldadura, las propiedades del material de base se determinarán en la condición de termotratado, de conformidad con lo dispuesto en los cuadros correspondientes del capítulo 7, y las características de la soldadura también se determinarán en la condición de termotratado de conformidad con lo establecido en 16.3. En los casos en que se aplique un termotratamiento postsoldadura, las reglas relativas a las pruebas se podrán modificar a juicio de la Administración.

**16.2 Reglas y especificaciones generales relativas a las pruebas****16.2.1 Pruebas de tracción**

16.2.1.1 Las pruebas de tracción se realizarán de conformidad con normas reconocidas.

16.2.1.2 La resistencia a la tracción, el límite elástico y el alargamiento serán satisfactorios a juicio de la Administración. En el caso de los aceros al carbonomanganeso y demás materiales con límites elásticos definitivos se tendrá en cuenta la limitación del coeficiente elasticidad-tracción.

**16.2.2 Pruebas de tenacidad**

16.2.2.1 Las pruebas de aceptación para los materiales metálicos incluirán pruebas de tenacidad con entalla Charpy en V, a menos que la Administración especifique lo contrario. Las reglas especificadas para la entalla Charpy en V son los valores de la energía media mínima para tres muestras de tamaño completo (10 mm x 10 mm) y los valores de la energía individual mínima para las muestras correspondientes. Las dimensiones y tolerancias de las muestras con entalla Charpy en V se ajustarán a normas reconocidas. Las pruebas y reglas para las muestras de tamaño inferior a 5 mm se ajustarán a normas reconocidas. Los valores medios mínimos de las muestras de tamaño reducido serán:

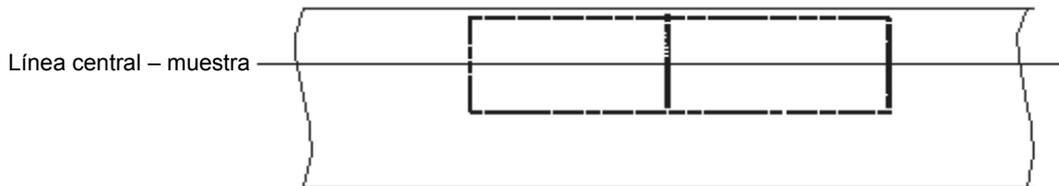
| Tamaño de las muestras (mm)<br>con entalla Charpy en V | Energía media mínima<br>de tres muestras |
|--|--|
| 10 x 10  | KV                                       |
| 10 x 7,5   | 5/6 KV                                   |
| 10 x 5,0   | 2/3 KV                                   |

donde

KV = los valores de la energía (J) especificados en los cuadros 7.1 a 7.4.

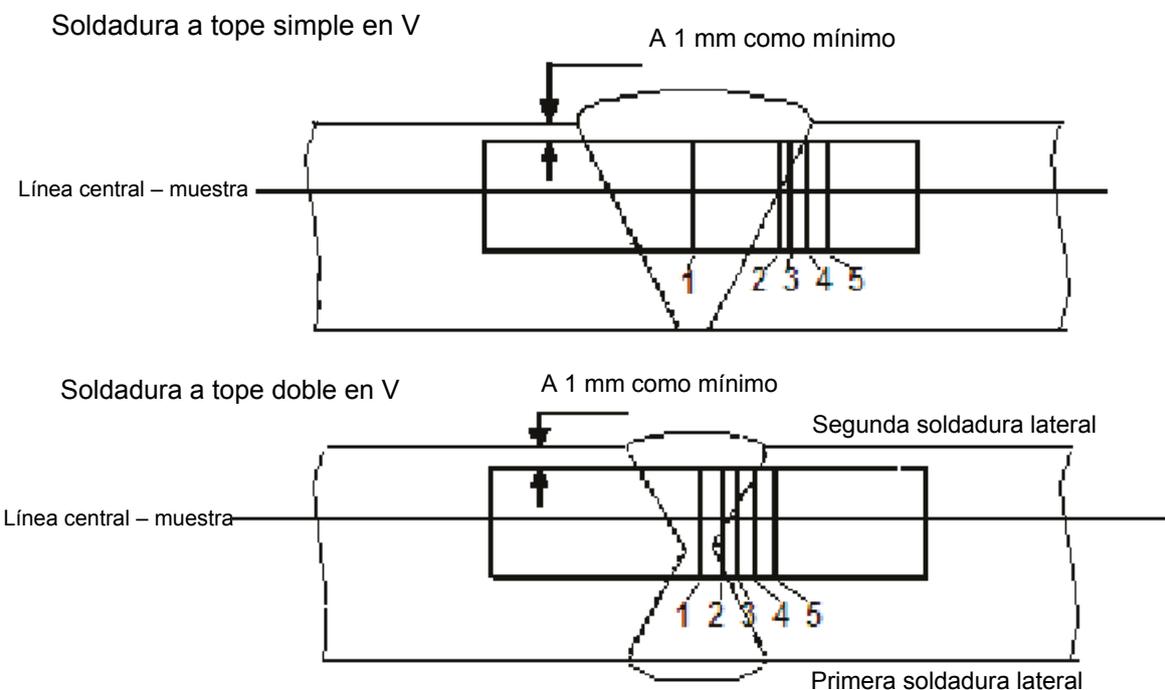
Sólo un valor individual podrá ser inferior al valor medio especificado, a condición de que no sea inferior al 70 % de dicho valor.

16.2.2.2 Por lo que se refiere al metal de base, las muestras con entalla Charpy en V de mayor tamaño posible para el espesor del material se maquinarán situadas lo más cerca posible de un punto intermedio entre la superficie y el centro del espesor y la longitud de la ranura perpendicular a la superficie, como se muestra en la figura 6.1.



**Figura 16.1: Orientación de la muestra de prueba del material de base**

16.2.2.3 Para una muestra de prueba de la soldadura, las muestras con entalla Charpy en V de mayor tamaño posible para el espesor del material se maquinarán situadas lo más cerca posible de un punto intermedio entre la superficie y el centro del espesor. En todos los casos, la distancia desde la superficie del material hasta el borde de la muestra será aproximadamente de 1 mm o más. Además, para soldaduras a tope dobles en V, las muestras se maquinarán más cerca de la superficie de la segunda sección soldada. En general, las muestras se tomarán en cada una de las ubicaciones siguientes, como se indica en la figura 16.2, en la línea central de las soldaduras, la línea de fusión y a 1 mm, 3 mm y 5 mm de la línea de fusión.



**Figura 16.2: Orientación de la muestra de prueba de la soldadura**

Ubicaciones de las ranuras en la figura 16.2:

- .1 en la línea central de la soldadura;
- .2 en la línea de fusión;
- .3 en la zona afectada por el calor, a 1 mm de la línea de fusión;
- .4 en la zona afectada por el calor, a 3 mm de la línea de fusión; y
- .5 en la zona afectada por el calor, a 5 mm de la línea de fusión.

16.2.2.4 Si el valor medio de las tres primeras muestras con entalla Charpy en V no se ajusta a las prescripciones indicadas, o el valor de más de una muestra es inferior al valor medio prescrito, o cuando el valor de una muestra es inferior al valor mínimo permitido para una sola muestra, podrán someterse a prueba tres muestras adicionales del mismo material y los resultados podrán combinarse con los obtenidos previamente para formar un nuevo promedio. Si este nuevo promedio se ajusta a las reglas y si no más de dos resultados son inferiores al promedio prescrito y sólo un resultado es inferior al valor prescrito para una sola muestra, se podrá aceptar la pieza o el lote de que se trate.

### **16.2.3 Pruebas de plegado**

16.2.3.1 La prueba de plegado podrá omitirse como prueba de aceptación del material, pero será necesaria para las pruebas de la soldadura. Cuando se realice una prueba de plegado, se llevará a cabo con arreglo a normas reconocidas.

16.2.3.2 Las pruebas de plegado serán pruebas de plegado transversales, que podrán ser el plegado de cara, de raíz o de lado, según decida la Administración. Sin embargo, en los casos en que el material de base y el metal de aportación tengan diferentes niveles de resistencia, se podrán requerir pruebas de plegado longitudinales en lugar de pruebas de plegado transversales.

### **16.2.4 Observación de secciones y otras pruebas**

La Administración también podrá pedir que se realicen observaciones de macrosección y de microsección, así como pruebas de dureza, que se llevarán a cabo de conformidad con normas reconocidas, según corresponda.

## **16.3 Soldadura de materiales metálicos y pruebas no destructivas del sistema de contención de combustible**

### **16.3.1 Generalidades**

Esta sección se aplicará solamente a las barreras primarias y secundarias, incluido el casco interior cuando éste forme la barrera secundaria. Se especifican pruebas de aceptación para los aceros al carbono, al carbonomanganeso, de aleación de níquel e inoxidables, aunque estas pruebas se podrán adaptar para otros materiales. A juicio de la Administración, las pruebas al choque del acero inoxidable y de las soldaduras de aleación de aluminio podrán omitirse y se podrán requerir especialmente otras pruebas para otros materiales cualesquiera.

### **16.3.2 Productos fungibles de soldadura**

Los productos fungibles destinados a la soldadura de los tanques de combustible se ajustarán a normas reconocidas. Se prescribirá la realización de pruebas del metal de aportación depositado y de pruebas de soldaduras a tope para todos los productos fungibles. Los resultados obtenidos con las pruebas de tracción y de choque con entalla Charpy en V se

ajustarán a normas reconocidas. Se registrará para fines de información la composición química del metal de aportación depositado.

### **16.3.3 Pruebas de procedimientos de soldadura para tanques de combustible y recipientes de elaboración a presión**

16.3.3.1 Es necesario realizar pruebas de procedimientos de soldadura para los tanques de combustible y los recipientes de elaboración a presión en relación con todas las soldaduras a tope.

16.3.3.2 Los conjuntos de prueba serán representativos de:

- .1 cada material de base;
- .2 cada tipo de material fungible y de procedimiento de soldadura; y
- .3 cada posición de soldadura.

16.3.3.3 Para las soldaduras a tope en planchas, los conjuntos de prueba se prepararán de manera que la dirección de la rodadura sea paralela a la dirección de la soldadura. La gama de espesores que se calificará con cada prueba de procedimientos de soldadura se ajustará a lo establecido en normas reconocidas. Se podrán realizar pruebas radiográficas o por ultrasonidos a elección del fabricante.

16.3.3.4 Las siguientes pruebas de procedimientos de soldadura para los tanques de combustible y los recipientes de elaboración a presión se realizarán de conformidad con lo dispuesto en 16.2, con muestras obtenidas de cada conjunto de prueba:

- .1 pruebas de tracción de soldadura transversales;
- .2 pruebas de soldaduras longitudinales si así lo prescriben las normas reconocidas;
- .3 pruebas de plegado transversal, que podrán ser de plegado de cara, de raíz o de lado. Sin embargo, se podrán prescribir pruebas de plegado longitudinal en lugar de pruebas de plegado transversal en los casos en que el material de base y el metal de aportación tengan diferentes grados de resistencia;
- .4 un conjunto de tres pruebas al choque con entalla Charpy en V, generalmente en cada una de las ubicaciones siguientes, como se muestra en la figura 16.2:
  - .1 en la línea central de la soldadura;
  - .2 en la línea de fusión;
  - .3 a 1 mm de la línea de fusión;
  - .4 a 3 mm de la línea de fusión; y
  - .5 a 5 mm de la línea de fusión;
- .5 también se podrá requerir la realización de reconocimientos de macrosección, de microsección y de dureza.

16.3.3.5 Cada una de las pruebas cumplirá lo siguiente:

- .1 pruebas de tracción: la resistencia a la tracción de las soldaduras transversales no será inferior a la resistencia mínima a la tracción especificada para los correspondientes materiales de base. En el caso de las aleaciones de aluminio se hará referencia a 6.4.12.1.1.3 en relación con

las reglas para la resistencia del metal de aportación de las soldaduras de menor resistencia de la chapa (cuando el metal de aportación tiene una resistencia a la tracción inferior a la del metal de base). En todo caso, se registrará la posición de fractura a título informativo;

- .2 pruebas de plegado: no se considerará aceptable ninguna fractura producida después de un plegado de 180° en un mandril de un diámetro cuatro veces mayor que el espesor de las muestras; y
- .3 pruebas al choque con entalla Charpy en V: las pruebas con entalla Charpy en V se efectuarán a la temperatura fijada para el metal de base que se vaya a soldar. Los resultados de las pruebas al choque del metal de aportación utilizando una energía media mínima (KV) serán de por lo menos 27 J. Las reglas relativas al metal de aportación de muestras de tamaño reducido y los valores de la energía individuales se ajustarán a lo prescrito en 16.2.2. Los resultados de las pruebas al choque efectuadas en la línea de fusión y en la zona afectada por el calor deberán arrojar una energía media mínima (KV) que se ajuste a las reglas relativas al material de base, considerado éste en sentido transversal o longitudinal, según proceda, y en cuanto a las muestras de tamaño reducido, la energía media mínima (KV) se ajustará a lo dispuesto en 16.2.2. Si el espesor del material no permite el maquinado de las muestras en tamaño real o en tamaño reducido normalizado, el procedimiento de prueba y las normas de aceptación se ajustarán a normas reconocidas.

16.3.3.6 Las pruebas de procedimientos de soldaduras en ángulo recto se ajustarán a normas reconocidas. En tales casos, los productos fungibles se seleccionarán de forma que presenten características de choque adecuadas.

#### **16.3.4 Pruebas de procedimientos de soldadura de tuberías**

Las pruebas de procedimientos de soldadura de tuberías serán similares a las estipuladas en 16.3.3 para los tanques de combustible y se efectuarán de la misma manera.

#### **16.3.5 Pruebas de soldadura durante la fabricación**

16.3.5.1 Por lo que respecta a todos los tanques de combustible y recipientes de elaboración a presión, excepto los tanques de membrana, durante la fabricación normalmente se efectuarán pruebas de soldadura por cada 50 m aproximadamente de juntas soldadas a tope, representativas de todas las posiciones de soldadura. En el caso de las barreras secundarias se deberán realizar los mismos tipos de pruebas durante la fabricación que las prescritas para los tanques primarios, con la salvedad de que se podrá reducir el número de pruebas, a condición de que se llegue a un acuerdo en dicho sentido con la Administración. Para los tanques de combustible o las barreras secundarias se podrá prescribir la realización de pruebas diferentes de las especificadas en 16.3.5.2 a 16.3.5.5.

16.3.5.2 Las pruebas que se efectúan durante la fabricación de los tanques independientes de tipo A y de tipo B incluirán pruebas de plegado y, cuando sea necesario para las pruebas de procedimientos, un conjunto de tres pruebas con entalla Charpy en V. Las pruebas se realizarán por cada 50 m de soldadura. Las pruebas con entalla Charpy en V se efectuarán con muestras que tengan la ranura situada de manera alternativa en el centro de la soldadura y en la zona afectada por el calor (la zona más crítica según los resultados de calificación del procedimiento). Si el material es acero inoxidable austenítico, todas las ranuras estarán situadas en el centro de la soldadura.

16.3.5.3 En el caso de los tanques independientes de tipo C y los recipientes de elaboración a presión, además de las pruebas indicadas en 16.3.5.2 se llevarán a cabo pruebas de tracción de las soldaduras transversales. Las pruebas de tracción cumplirán las reglas indicadas en 16.3.3.5.

16.3.5.4 El programa de garantía/control de la calidad garantizará que las soldaduras de fabricación sigan cumpliendo las normas establecidas en el manual de calidad de los fabricantes de los materiales.

16.3.5.5 Las reglas relativas a las pruebas de los tanques de membrana son las mismas que las aplicables según 16.3.3.

### **16.3.6 Pruebas no destructivas**

16.3.6.1 Todas las pruebas de procedimiento y de aceptación se ajustarán a normas reconocidas, a menos que el proyectista especifique una norma más rigurosa para cumplir determinados supuestos de proyecto. Se efectuarán pruebas radiográficas, en principio, para detectar defectos internos. Sin embargo, podrá aplicarse un procedimiento aprobado de pruebas con ultrasonidos en lugar de pruebas radiográficas, aunque además se realicen pruebas radiográficas adicionales en determinados lugares a fin de verificar los resultados. Por otra parte, se conservarán registros de las pruebas radiográficas y con ultrasonidos.

16.3.6.2 En el caso de los tanques independientes de tipo A cuya temperatura de proyecto sea inferior a -20 °C, y los tanques independientes de tipo B, sea cual fuere su temperatura, todas las soldaduras a tope con penetración total del forro exterior de los tanques de combustible serán sometidas a pruebas no destructivas adecuadas para detectar defectos internos en toda su longitud. Se podrán realizar pruebas con ultrasonidos en lugar de pruebas radiográficas en las mismas condiciones que las señaladas en 16.3.6.1.

16.3.6.3 En cada caso, la estructura restante del tanque, incluida la soldadura de los regidizadores y de otros accesorios y sujeciones, se examinará con métodos de inspección por partículas magnéticas o con tintes penetrantes, según se considere necesario.

16.3.6.4 Para tanques independientes de tipo C, el grado de las pruebas no destructivas será total o parcial, de conformidad con normas reconocidas, pero los controles que se lleven a cabo no serán menos rigurosos que los siguientes:

- .1 Pruebas no destructivas totales a las que se hace referencia en 6.4.15.3.2.1.3:

Pruebas radiográficas:

- .1 Todas las soldaduras a tope en toda su longitud.

Pruebas no destructivas para la detección de fisuras en la superficie:

- .2 todas las soldaduras en el 10 % de su longitud;
- .3 aros de refuerzo alrededor de orificios, boquillas, etc., en toda su longitud.

De manera alternativa, se podría aceptar una prueba por ultrasonidos, tal como se dispone en 16.3.6.1, como un sustituto parcial de la prueba radiográfica. Además, la Administración podrá requerir la realización únicamente de pruebas por ultrasonidos de la soldadura de los aros de refuerzo alrededor de orificios, boquillas, etc.

.2 Pruebas parciales no destructivas mencionadas en 6.4.15.3.2.1.3:

Pruebas radiográficas:

- .1 Todas las juntas de cruce soldadas a tope y al menos en el 10 % de la longitud total de las soldaduras a tope en determinadas posiciones uniformemente distribuidas.

Pruebas no destructivas para la detección de fisuras en la superficie:

- .2 Aros de refuerzo alrededor de orificios, boquillas, etc., en toda su longitud.

Pruebas con ultrasonidos:

- .3 Según lo prescriba, en cada caso, la Administración.

16.3.6.5 El programa de garantía/control de la calidad garantizará el cumplimiento continuo de las pruebas no destructivas de las soldaduras, según se establece en el manual de calidad de los fabricantes de los materiales.

16.3.6.6 La inspección de las tuberías se llevará a cabo de conformidad con las reglas del capítulo 7.

16.3.6.7 La barrera secundaria se someterá a pruebas no destructivas para la detección de defectos internos, según se considere necesario. Cuando el forro exterior del casco forme parte de la barrera secundaria, todas las uniones a tope de las tracas de cinta y las intersecciones de todas las uniones a tope, así como las soldaduras del forro del costado, se someterán a pruebas radiográficas.

## 16.4 Otras reglas para la construcción con materiales metálicos

### 16.4.1 Generalidades

Las inspecciones y las pruebas no destructivas de las soldaduras se realizarán de conformidad con las reglas prescritas en 16.3.5 y 16.3.6. Cuando en los proyectos se asuman normas más rigurosas o menores márgenes de tolerancia, éstos se deberán cumplir.

### 16.4.2 Tanques independientes

En el caso de los tanques de tipo C y los tanques de tipo B con forma de cuerpos de revolución, las tolerancias relativas a la fabricación, tales como la ovalización, las desviaciones locales de la forma pura, la alineación de las soldaduras y la conificación de las planchas de diferentes espesores, se ajustarán a normas reconocidas. Las tolerancias también guardarán relación con los análisis de pandeo que se describen en 6.4.15.2.3.1 y 6.4.15.3.3.2.

### **16.4.3 Barreras secundarias**

Durante la construcción, las reglas para las pruebas y la inspección de las barreras secundarias serán aprobadas o aceptadas por la Administración (véanse también 6.4.4.5 y 6.4.4.6).

### **16.4.4 Tanques de membrana**

El programa de garantía/control de la calidad garantizará que los componentes sigan cumpliendo las normas pertinentes sobre la calificación de los procedimientos de las soldaduras, los detalles de proyecto, los materiales, la construcción, las inspecciones y las pruebas durante la producción. Tales normas y procedimientos se elaborarán durante el programa de pruebas de prototipos.

## **16.5 Pruebas**

### **16.5.1 Pruebas e inspecciones durante la construcción**

16.5.1.1 Todos los tanques de combustible de gas licuado y los recipientes de elaboración a presión se someterán a pruebas de presión hidrostática o hidroneumática de acuerdo con lo dispuesto en 16.5.2 a 16.5.5, según corresponda para el tipo de tanque.

16.5.1.2 Todos los tanques se someterán a una prueba de estanquidad en combinación con la prueba de presión mencionada en 16.5.1.1.

16.5.1.3 Se someterá a prueba la estanquidad al gas del sistema de contención de combustible al que se hace referencia en 6.3.3.

16.5.1.4 Las reglas relativas a la inspección de las barreras secundarias serán establecidas en cada caso por la Administración, teniendo en cuenta la accesibilidad de la barrera (véase también 6.4.4).

16.5.1.5 La Administración podrá establecer que, tratándose de buques equipados con tanques independientes de tipo B de carácter innovador, o con tanques proyectados de conformidad con lo dispuesto en 6.4.16, por lo menos un tanque de prototipo y su soporte se equiparán con medidores de tensión u otro equipo adecuado que permita confirmar los niveles de esfuerzo durante las pruebas prescritas en 16.5.1.1. Se podrán prescribir instrumentos similares para los tanques independientes de tipo C en función de su configuración y de la disposición de sus soportes y accesorios.

16.5.1.6 Se comprobará que el desempeño global del sistema de contención de combustible se ajuste a los parámetros de proyecto durante la primera toma de gas natural licuado, cuando el combustible de gas licuado alcance condiciones térmicas estables, de conformidad con las prescripciones establecidas por la Administración. Se mantendrán a bordo registros del rendimiento de los componentes y equipo, esenciales para verificar los parámetros de proyecto, y dichos registros se pondrán a disposición de la Administración.

16.5.1.7 El sistema de contención de combustible será objeto de inspección por lo que respecta a los puntos fríos durante la primera toma de gas natural licuado o inmediatamente después, cuando se hayan alcanzado condiciones térmicas estables. La inspección de la integridad de las superficies de aislamiento térmico que no puedan comprobarse visualmente se llevará a cabo de conformidad con las prescripciones de la Administración.

16.5.1.8 Los dispositivos de calefacción, si estuvieren instalados de conformidad con lo establecido en 6.4.13.1.1.3 y 6.4.13.1.1.4, se someterán a pruebas para verificar la salida y la distribución del calor prescritas.

#### **16.5.2 Tanques independientes de tipo A**

Todos los tanques independientes de tipo A se someterán a una prueba de presión hidrostática o hidroneumática. Dicha prueba se realizará de tal manera que los esfuerzos se aproximen, en la medida de lo posible, a los esfuerzos de proyecto, y que la presión en la parte superior del tanque corresponda, como mínimo, al MARVS. Cuando se realice una prueba hidroneumática, las condiciones deberán simular, en la medida de lo posible, la carga de proyecto del tanque y de su estructura de apoyo, incluidos los componentes dinámicos, al tiempo que se evitarán los niveles de esfuerzo que podrían causar una deformación permanente.

#### **16.5.3 Tanques independientes de tipo B**

Los tanques independientes de tipo B se someterán a una prueba de presión hidrostática o hidroneumática de la manera siguiente:

- .1 la prueba se realizará de conformidad con lo estipulado en 16.5.2 por lo que se refiere a los tanques independientes de tipo A; y
- .2 además, el esfuerzo de membrana primario máximo o el esfuerzo máximo de flexión en los elementos primarios en las condiciones de prueba no superará el 90 % del límite de elasticidad del material (en su estado de fabricación) a la temperatura de prueba. A fin de garantizar el cumplimiento de esta condición, cuando los cálculos indican que este esfuerzo será superior al 75 % del límite de elasticidad, la prueba del primero de una serie de tanques idénticos se supervisará mediante el uso de medidores de tensión u otro equipo adecuado.

#### **16.5.4 Tanques independientes de tipo C y otros recipientes a presión**

16.5.4.1 Cada recipiente a presión se someterá a una prueba hidrostática a una presión medida en la parte superior de los tanques, que no será inferior a  $1,5 P_o$ . En ningún caso durante la prueba de presión el esfuerzo de membrana primario calculado en cualquier punto será superior al 90 % del límite de elasticidad del material a la temperatura de la prueba. A fin de garantizar que se cumpla esta condición, cuando los cálculos indiquen que este esfuerzo será más de 0,75 veces el límite de elasticidad, la prueba del primero de una serie de tanques idénticos se supervisará mediante el uso de medidores de tensión u otro equipo adecuado en recipientes a presión distintos de los recipientes a presión sencillos, cilíndricos y esféricos.

16.5.4.2 La temperatura del agua utilizada para la prueba será de al menos 30 °C por encima de la temperatura de transición a la ductilidad nula del material en el estado de fabricación.

16.5.4.3 La presión se mantendrá durante 2 h por cada 25 mm de espesor, pero en ningún caso menos de 2 h.

16.5.4.4 Cuando sea necesario, en el caso de recipientes a presión de combustible de gas licuado se podrá realizar una prueba hidroneumática en las condiciones indicadas en 16.5.4.1 a 16.5.4.3.

16.5.4.5 Podrá prestarse atención especial a las pruebas de tanques en las que se utilicen esfuerzos mayores admisibles, según la temperatura de servicio. Sin embargo, deberá cumplirse plenamente lo estipulado en la regla del párrafo 16.5.4.1.

16.5.4.6 Después de su terminación y montaje, cada recipiente a presión y sus accesorios correspondientes se someterán a una prueba de estanquidad adecuada, que podrá llevarse a cabo conjuntamente con la prueba de presión a la que se hace referencia en 16.5.4.1 o 16.5.4.4, según proceda.

16.5.4.7 Las pruebas neumáticas de los recipientes a presión distintos de los tanques de combustible de gas licuado se examinarán caso por caso. Sólo se permitirá realizar tales pruebas con los recipientes que han sido proyectados o que se encuentran apoyados de manera que no es posible llenarlos de agua de forma segura, o con aquellos recipientes que no pueden secarse y que deban utilizarse para circunstancias en que no puede admitirse la presencia de rastros del medio de prueba.

### **16.5.5 Tanques de membrana**

16.5.5.1 Pruebas relativas a la fase de elaboración del proyecto

16.5.5.1.1 Las pruebas relativas a la fase de elaboración del proyecto indicadas en 6.4.15.4.1.2 comprenderán un conjunto de modelos analíticos y físicos tanto de las barreras primarias como de las secundarias, incluidas las esquinas y juntas que hayan sido sometidas a prueba para comprobar que resistirán las tensiones combinadas previstas como consecuencia de las cargas estáticas, dinámicas y térmicas que se darán a todos los niveles de llenado. Esto culminará en la construcción de un modelo prototipo a escala de todo el sistema de contención de combustible de gas licuado. Las condiciones de prueba que se examinarán en los modelos analíticos y físicos serán representativas de las condiciones de servicio más extremas que el sistema de contención de combustible de gas licuado probablemente experimente durante su vida útil. Los criterios de aceptación propuestos para las pruebas periódicas a las que se someterán las barreras secundarias, según se indica en 6.4.4 podrán basarse en los resultados de las pruebas que se realicen con el modelo de prototipo a escala.

16.5.5.1.2 El rendimiento en cuanto a la fatiga de los materiales de membrana y de las juntas representativas soldadas o adheridas a las membranas se determinará mediante la realización de pruebas. Se efectuarán análisis o pruebas para determinar la resistencia a la rotura y el rendimiento en cuanto a la fatiga de los dispositivos de fijación del sistema de aislamiento térmico a la estructura del casco.

16.5.5.2 Pruebas

- .1 En los buques equipados con sistemas de contención de combustible de gas licuado de membrana, se someterán a pruebas hidrostáticas todos los tanques y demás espacios que normalmente pueden contener líquidos y son adyacentes a la estructura del casco que sirve de apoyo a la membrana.
- .2 Todas las estructuras de bodegas que sirven de apoyo a la membrana se someterán a pruebas de estanquidad antes de instalar el sistema de contención de combustible de gas licuado.
- .3 No es necesario someter a pruebas hidrostáticas los túneles de tuberías y demás compartimientos que normalmente no contienen líquidos.

## 16.6 Soldaduras, termotratamiento postsoldadura y pruebas no destructivas

### 16.6.1 Generalidades

Las soldaduras se realizarán de conformidad con lo dispuesto en 16.3.

### 16.6.2 Termotratamiento postsoldadura

Se exigirá un termotratamiento postsoldadura para todas las soldaduras a tope de las tuberías de aceros al carbono, al carbonomanganeso y de baja aleación. La Administración podrá eximir de la aplicación de las reglas relativas al alivio del esfuerzo térmico a las tuberías cuyas paredes tengan un espesor inferior a 10 mm en función de la temperatura y la presión de proyecto del sistema de tuberías en cuestión.

### 16.6.3 Pruebas no destructivas

Además de los controles normales que se efectúan antes y durante las operaciones de soldadura y de la inspección visual de las soldaduras acabadas, necesarios para comprobar que la soldadura se efectuó correctamente y de conformidad con lo estipulado en este párrafo, se exigirán las siguientes pruebas:

- .1 Inspección radiográfica o por ultrasonidos del 100 % de cada junta soldada a tope de los sistemas de tuberías con:
  - .1 temperaturas de proyecto inferiores a -10 °C; o
  - .2 presiones de proyecto superiores a 1,0 MPa; o
  - .3 tuberías de suministro de gas en espacios de máquinas protegidos por desactivación en caso de emergencia; o
  - .4 diámetros interiores de más de 75 mm; o
  - .5 espesores de pared de más de 10 mm.
- .2 Cuando dichas juntas soldadas a tope de las secciones de tuberías se realicen mediante procedimientos de soldadura automáticos aprobados por la Administración, se podrá convenir en la reducción progresiva del alcance de la inspección radiográfica o por ultrasonidos, pero en ningún caso a menos de 10 % de cada soldadura. Si aparecen defectos se aumentará al 100 % el alcance del examen y se incluirán inspecciones de soldaduras previamente aceptadas. Esta aprobación solamente se otorgará cuando se disponga de procedimientos y registros bien documentados sobre la garantía de la calidad que permitan evaluar la capacidad del fabricante para producir sistemáticamente soldaduras satisfactorias.
- .3 La regla para la inspección radiográfica o por ultrasonidos se podrá reducir al 10 % en el caso de las soldaduras a tope de la tubería exterior de las tuberías de combustible de doble pared.
- .4 En cuanto a otras soldaduras a tope de tuberías no contempladas en las reglas indicadas en 16.6.3.1 y 16.6.3.3 se llevarán a cabo inspecciones radiográficas o por ultrasonidos por zonas u otras pruebas no destructivas, según lo requiera el servicio, el emplazamiento y los materiales. En general, se someterán a inspecciones radiográficas o por ultrasonidos, como mínimo, el 10 % de las soldaduras a tope de las tuberías.

## 16.7 Reglas aplicables a las pruebas

### 16.7.1 Pruebas de homologación de los componentes de las tuberías

#### Válvulas

Los tipos de componentes de las tuberías destinados a utilizarse a temperaturas de funcionamiento inferiores a -55 °C se someterán a las siguientes pruebas de homologación:

- .1 cada tamaño y tipo de válvula se someterá a pruebas de estanquidad del asiento en toda la gama de presiones y temperaturas de funcionamiento, a intervalos, hasta alcanzar la presión de proyecto nominal de la válvula. Los regímenes de fuga admisibles se ajustarán a las prescripciones de la Administración. Durante las pruebas se verificará el funcionamiento satisfactorio de la válvula;
- .2 el flujo o la capacidad se certificarán con arreglo a una norma reconocida en relación con cada tamaño y tipo de válvula;
- .3 los componentes presurizados se someterán a una prueba de presión en la que ésta sea por lo menos 1,5 veces la presión nominal; y
- .4 para las válvulas de cierre de emergencia que tienen materiales cuya temperatura de fusión es inferior a 925 °C, las pruebas de homologación incluirán una prueba de exposición al fuego que se ajuste a una norma que, como mínimo, sea equivalente a las que son aceptables a juicio de la Organización.

### 16.7.2 Fuelles de dilatación

Se llevarán a cabo las siguientes pruebas de homologación en cada tipo de fuelle de dilatación cuyo uso esté previsto en tuberías de combustible situadas fuera del tanque de combustible según la pauta de aceptación indicada en 7.3.6.4.3.1.3 y cuando así lo requiera la Administración; cuando se instalen dentro de los tanques de combustible:

- .1 Se someterán a prueba los elementos de los fuelles, no precomprimidos pero axialmente restringidos, a una presión mínima cinco veces superior a la presión de proyecto sin que el fuelle llegue a estallar. La prueba tendrá una duración mínima de 5 minutos.
- .2 Se someterá a una prueba de presión una junta de dilatación junto con todos los accesorios, como bridas, refuerzos y articulaciones, a la temperatura de proyecto mínima y al doble de la presión de proyecto, y en las condiciones extremas de desplazamiento recomendadas por el fabricante, sin que se observen deformaciones permanentes.
- .3 Se efectuará una prueba cíclica (fluctuaciones térmicas) en una junta de dilatación completa, que deberá resistir, en las condiciones de presión, temperatura y movimientos axial, giratorio y transversal, tantos ciclos como los que experimentará durante el servicio real. Se podrán realizar pruebas a temperatura ambiente cuando estas pruebas sean al menos tan rigurosas como las que se realizan a la temperatura de servicio.

- .4 Se efectuará una prueba cíclica de fatiga (deformación del buque, aceleraciones del buque y vibraciones de las tuberías) en una junta de dilatación completa, sin presión interna, simulando para ello los movimientos de fuelle correspondientes a la longitud de una tubería compensada, durante un mínimo de 2 000 000 de ciclos, a una frecuencia que no supere los 5 Hz. Esta prueba se requerirá únicamente cuando se lleguen a experimentar cargas de deformación del buque debidas a la disposición de las tuberías.

### **16.7.3 Reglas aplicables a las pruebas de los sistemas**

16.7.3.1 Las reglas para las pruebas de esta sección se aplican a las tuberías de gas colocadas dentro y fuera de los tanques de combustible. Sin embargo, la Administración podrá aceptar una aplicación menos rigurosa de estas reglas en el caso de las tuberías instaladas en el interior de los tanques de combustible y de las tuberías de extremos abiertos.

16.7.3.2 Una vez montadas, todas las tuberías de combustible se someterán a una prueba de resistencia con un fluido adecuado. La presión de prueba será al menos 1,5 veces la presión de proyecto de las tuberías para líquidos y 1,5 veces la presión de funcionamiento máxima del sistema para las tuberías de vapores. Cuando los sistemas de tuberías o partes de éstos sean del tipo totalmente prefabricado y estén provistos de todos los accesorios, la prueba podrá efectuarse antes de que se instalen a bordo. Las juntas soldadas a bordo se someterán a una prueba a una presión igual o superior a 1,5 veces la presión de proyecto.

16.7.3.3 Una vez montado a bordo, el sistema de tuberías de combustible se someterá a una prueba de detección de fugas utilizando aire, u otro agente adecuado, a una presión acorde con el método de detección de fugas que se aplique.

16.7.3.4 En los sistemas de tuberías de combustible de gas de doble pared, los tubos o conductos exteriores también serán sometidos a una prueba de presión para demostrar que pueden resistir la presión máxima prevista de rotura de la tubería.

16.7.3.5 Todos los sistemas de tuberías, incluidas las válvulas, los accesorios y los equipos conexos para la manipulación del combustible o de vapores se someterán a pruebas en condiciones normales de funcionamiento a más tardar en la primera operación de toma de combustible, con arreglo a las prescripciones de la Administración.

16.7.3.6 Las válvulas de desactivación de emergencia situadas en los sistemas de tuberías de gas licuado se cerrarán completa y perfectamente en los 30 segundos posteriores a su activación. Se dispondrá a bordo de información acerca del tiempo de cierre de las válvulas y de sus características de funcionamiento, y el tiempo de cierre deberá ser comprobable y repetible.

16.7.3.7 El tiempo de cierre de la válvula al que se hace referencia en 8.5.8 y 15.4.2.2 (es decir, el tiempo que transcurre desde que se emite la señal de desactivación hasta que se completa el cierre de la válvula) no será superior a:

$$\frac{3\ 600U}{BR} \text{ (segundos)}$$

donde:

$U$  = volumen del espacio vacío ( $m^3$ ) al nivel en que se produce la señal de accionamiento;

*BR* = régimen de toma de combustible máximo acordado entre el buque y las instalaciones en tierra ( $m^3/h$ ); o

5 segundos, si esta cifra es menor.

El régimen de toma de combustible se ajustará con el fin de limitar los aumentos de presión durante el cierre de la válvula a un nivel aceptable, teniendo en cuenta la manga o el brazo de toma de combustible y los sistemas de tuberías del buque y en tierra, cuando sea pertinente.

## PARTE C-1

En el contexto de las reglas de esta parte, *combustible* significa gas natural, en estado licuado o gaseoso.

### 17 EJERCICIOS Y PRÁCTICAS DE EMERGENCIA

Se efectuarán ejercicios y prácticas de emergencia a bordo a intervalos periódicos.

Dichas prácticas relacionadas con gases podrían incluir, entre otras cosas:

- .1 ejercicios teóricos;
- .2 examen de los procedimientos de toma de combustible basándose en el manual de manipulación de combustible estipulado en el párrafo 18.2.3;
- .3 respuestas a posibles contingencias;
- .4 pruebas del equipo para la respuesta a contingencias; y
- .5 exámenes de que la gente de mar asignada tiene la formación que la capacita para las tareas asignadas durante la toma de combustible y la respuesta a contingencias.

Las prácticas relacionadas con los gases pueden incorporarse en los ejercicios periódicos prescritos por el Convenio SOLAS.

Se examinará y someterá a prueba el sistema de respuesta y seguridad para los peligros potenciales y el control de accidentes.

### 18 FUNCIONAMIENTO

#### 18.1 Objetivo

El objetivo de este capítulo es garantizar que los procedimientos operacionales para la carga, el almacenamiento, el funcionamiento, el mantenimiento y la inspección de los sistemas de gas o combustibles de bajo punto de inflamación reduzcan al mínimo los riesgos para el personal, el buque y el medio ambiente y sean compatibles con las prácticas en los buques tradicionales que queman combustible líquido, al mismo tiempo que se tiene en cuenta la naturaleza del combustible líquido o gaseoso.

#### 18.2 Prescripciones funcionales

Este capítulo está relacionado con las prescripciones funcionales de los párrafos 3.2.1 a 3.2.3, 3.2.9, 3.2.11, 3.2.15, 3.2.16 y 3.2.17. En particular, se dispone que:

- .1 a bordo de todo buque regido por el presente código se llevará un ejemplar del mismo o de las reglamentaciones nacionales que recojan sus disposiciones;
- .2 a bordo se encontrarán disponibles los procedimientos de mantenimiento y material de información para todas las instalaciones relacionadas con gas;

- .3 el buque estará provisto de procedimientos operacionales que incluyan un manual de manipulación de combustible bien pormenorizado, de manera que el personal formado pueda accionar en condiciones de seguridad los sistemas de toma, almacenamiento y trasvase de combustible; y
- .4 el buque dispondrá de procedimientos de emergencia adecuados.

### **18.3 Reglas aplicables al mantenimiento**

18.3.1 Los procedimientos de mantenimiento y reparación incluirán los aspectos relacionados con el emplazamiento de los tanques y los espacios adyacentes (véase el capítulo 5).

18.3.2 Los reconocimientos, el mantenimiento y las pruebas en servicio del sistema de contención de combustible se deben realizar de conformidad con el plan de inspección/reconocimiento estipulado en el párrafo 6.4.1.8.

18.3.3 Los procedimientos y el material de información incluirán el mantenimiento del equipo eléctrico instalado en espacios y zonas que entrañan peligro potencial de explosión. La inspección y el mantenimiento de las instalaciones eléctricas en dichos espacios se efectuarán de conformidad con una norma reconocida.

### **18.4 Reglas aplicables a las operaciones de toma de combustible**

#### **18.4.1 Responsabilidades**

18.4.1.1 Antes de dar inicio a las operaciones de toma de combustible, el capitán del buque receptor o su representante y el representante de la fuente de la toma de combustible (persona a cargo):

- .1 acordarán por escrito el procedimiento de trasvase, incluido el enfriamiento y, de ser necesario, la gasificación; el régimen máximo de trasvase en todas las etapas y el volumen que se va a trasvasar;
- .2 acordarán por escrito las medidas que se adoptarán en caso de emergencia; y
- .3 rellenarán y firmarán la lista de comprobaciones de seguridad del depósito de combustible.

18.4.1.2 Una vez terminadas las operaciones de toma de combustible, la persona a cargo del buque recibirá y firmará una nota de entrega del combustible expedido que contenga al menos la información que se especifica en el anexo de la parte C-1, cumplimentada y firmada por la persona a cargo de la fuente de la toma de combustible.

#### **18.4.2 Visión general de los sistemas de control, automatización y seguridad**

18.4.2.1 El manual de manipulación de combustible prescrito en 18.2.3 incluirá, entre otras cosas:

- .1 el funcionamiento general del buque entre dos entradas consecutivas a dique seco, incluidos los procedimientos de enfriamiento y calentamiento, la carga de combustible y, cuando proceda, la descarga, el muestreo, la inertización y la desgasificación;

- .2 los sistemas de control de la temperatura y la presión del depósito de combustible y de alarma y seguridad;
- .3 las limitaciones de los sistemas, los regímenes de enfriamiento y las temperaturas máximas del tanque de almacenamiento de combustible antes de la toma de combustible, incluidas las temperaturas mínimas del combustible, las presiones máximas del tanque, los regímenes de trasvase, los límites de llenado y las limitaciones debidas al chapoteo del líquido;
- .4 el funcionamiento de los sistemas de gas inerte;
- .5 los procedimientos de lucha contra incendios y de emergencia: el funcionamiento y el mantenimiento de los sistemas de lucha contra incendios y el uso de agentes extintores;
- .6 las propiedades específicas del combustible y el equipo especial necesario para su manipulación segura;
- .7 el funcionamiento del equipo fijo y portátil de detección de gas y el mantenimiento del equipo;
- .8 los sistemas de parada de emergencia y de descarga de emergencia, cuando los hubiere; y
- .9 una descripción de las medidas procedimentales que se tomarán en una situación de emergencia, como las fugas, los incendios o la posible estratificación del combustible que se traduzca en desplazamiento.

18.4.2.2 En el puesto de control de la toma de combustible del buque y en el puesto de toma de combustible habrá permanentemente un diagrama esquemático del sistema de combustible/tuberías e instrumentos.

### **18.4.3 Verificación previa a la toma de combustible**

18.4.3.1 Antes de efectuarse las operaciones de toma de combustible se hará una verificación previa -que se registrará en la lista de comprobaciones de seguridad del combustible- de, entre otras cosas:

- .1 todos los métodos de comunicación, incluido, si lo hay, el enlace buque-tierra;
- .2 el funcionamiento del equipo fijo de detección de gas e incendios;
- .3 el funcionamiento del equipo portátil de detección de gas;
- .4 el funcionamiento de las válvulas de mando a distancia; y
- .5 la inspección de conductos flexibles y acoplamientos.

18.4.3.2 La documentación sobre la verificación satisfactoria se indicará en la lista de comprobaciones de seguridad de la toma de combustible mutuamente acordada, cumplimentada y firmada por las dos personas a cargo.

#### **18.4.4 Comunicaciones entre la fuente de la toma de combustible y el buque**

18.4.4.1 Durante las operaciones de toma de combustible se mantendrá en todo momento la comunicación entre la persona a cargo en el buque y la persona a cargo en la fuente de la toma de combustible. Si no fuera posible mantener la comunicación, se deberá interrumpir la toma de combustible y sólo se reanudará una vez restablecida la comunicación.

18.4.4.2 Los dispositivos utilizados en la toma de combustible se ajustarán a normas reconocidas aplicables a tales dispositivos que sean aceptables a juicio de la Administración.

18.4.4.3 Las personas a cargo contarán con medios de comunicación directos e inmediatos con el personal que interviene en las operaciones de toma de combustible.

18.4.4.4 El enlace entre el buque y tierra o un medio equivalente de enlace a una fuente de toma de combustible que se facilite para las comunicaciones automáticas de desactivación en caso de emergencia será compatible con el sistema de desactivación en caso de emergencia del buque receptor y de la instalación que realiza la entrega.

#### **18.4.5 Puesta a masa**

Los conductos flexibles, los brazos de trasvase, las tuberías y los accesorios provistos por la instalación que realiza la entrega y utilizados para la operación de toma de combustible serán eléctricamente continuos, estarán debidamente aislados y proporcionarán un nivel de seguridad que se ajuste a normas reconocidas.

#### **18.4.6 Condiciones para el trasvase**

18.4.6.1 En los puntos de acceso a la zona de la toma de combustible se fijarán letreros de advertencia en los que se indicarán las medidas de seguridad contra incendios durante el trasvase del combustible.

18.4.6.2 Durante la operación de trasvase, en la zona del colector de la toma de combustible sólo habrá personal esencial. Todo el personal que realice tareas o que trabaje en las proximidades de las operaciones utilizará equipo protector personal adecuado. Si no se mantienen las condiciones requeridas para el trasvase se detendrán las operaciones, que no se reanudarán hasta que se cumplan todos los requisitos necesarios.

18.4.6.3 Cuando la toma de combustible tiene lugar a través de la instalación de tanques portátiles, el procedimiento proporcionará un nivel de seguridad equivalente al de los tanques de combustible y sistemas integrados. Los tanques portátiles se llenarán antes de que se carguen a bordo del buque y se sujetarán adecuadamente antes de que se conecten al sistema de combustible.

18.4.6.4 En el caso de los tanques que estén instalados permanentemente en el buque, la conexión de todos los sistemas necesarios del tanque (tuberías, mandos, sistema de seguridad, sistema de alivio de presión, etc.) al sistema de suministro de combustible del buque es parte del proceso de "toma de combustible" y concluirá antes de que el buque salga de la fuente de la toma de combustible. No está permitido conectar ni desconectar los tanques portátiles durante la travesía por el mar ni al efectuar maniobras.

## **18.5 Reglas aplicables a las entradas en espacios cerrados**

18.5.1 En circunstancias normales de funcionamiento, el personal no entrará en los tanques de combustible, los espacios de bodega de almacenamiento de combustible, los espacios vacíos, los espacios de las conexiones de los tanques u otros espacios cerrados en los que puedan acumularse gases o vapores inflamables, a menos que se mida el contenido gaseoso de la atmósfera del espacio en cuestión utilizando equipo fijo o portátil para confirmar que hay suficiente oxígeno y que la atmósfera no es explosiva.

18.5.2 El personal que entre en un espacio designado como zona potencialmente peligrosa no introducirá ninguna posible fuente de ignición en dicho espacio a menos que éste se haya certificado como desgasificado y se haya mantenido en esa condición.

## **18.6 Reglas aplicables a la inertización y la purga de los sistemas de combustible**

18.6.1 El objetivo principal de la inertización y la purga de los sistemas de combustible es evitar la formación de atmósferas combustibles en su interior, las cercanías o los alrededores de las tuberías, los tanques y los equipos de combustible y en los espacios adyacentes.

18.6.2 Los procedimientos de inertización y purga de los sistemas de combustible garantizarán que no entre aire en las tuberías o los tanques que contengan atmósferas gaseosas y que no penetre gas en el aire de recintos o espacios adyacentes a los sistemas de combustible.

## **18.7 Reglas aplicables a trabajos en caliente en los sistemas de combustible o en sus cercanías**

18.7.1 Los trabajos en caliente cerca de tanques de combustible, tuberías de combustible y sistemas de aislamiento que puedan ser inflamables o estar contaminados de hidrocarburos o que puedan desprender gases tóxicos como producto de su combustión sólo se efectuarán después de que se haya comprobado que la zona es segura, se haya demostrado que se pueden efectuar sin peligro trabajos en caliente y se hayan obtenido las aprobaciones correspondientes.

## ANEXO

## NOTA DE ENTREGA DE COMBUSTIBLE GNL

## GNL COMO COMBUSTIBLE PARA

**NOMBRE DEL BUQUE:** \_\_\_\_\_ **Nº IMO:** \_\_\_\_\_

Fecha de entrega:

**1 Propiedades del GNL**

|  |                   |  |
|--|-------------------|--|
| Número de metano   | –                 |  |
| Poder calorífico inferior                                    | MJ/kg             |  |
| Poder calorífico superior                                    | MJ/kg             |  |
| Índices de Wobbe Ws/Wi                                       | MJ/m <sup>3</sup> |  |
| Densidad   | kg/m <sup>3</sup> |  |
| Presión  | MPa (abs)         |  |
| Temperatura del GNL entregado                                | °C                |  |
| Temperatura del GNL en el tanque o tanques de almacenamiento | °C                |  |
| Presión en el tanque o tanques de almacenamiento             | MPa (abs)         |  |

**2 Composición del GNL**

|   |           |  |
|---|-----------|--|
| Metano, CH <sub>4</sub>   | % (kg/kg) |  |
| Etano, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>  | % (kg/kg) |  |
| Propano, C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>  | % (kg/kg) |  |
| Isobutano, i C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>   | % (kg/kg) |  |
| N-Butano, n C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>  | % (kg/kg) |  |
| Pentano, C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>   | % (kg/kg) |  |
| Hexano, C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>  | % (kg/kg) |  |
| Heptano, C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>   | % (kg/kg) |  |
| Nitrógeno, N <sub>2</sub>   | % (kg/kg) |  |
| Azufre, S   | % (kg/kg) |  |
| <b>despreciable &lt;5 ppm</b> sulfuro de hidrógeno, hidrógeno, amoníaco, cloro, flúor, agua |           |  |

**3 Total neto entregado:** \_\_\_\_\_ t, \_\_\_\_\_ MJ \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>

**Líquido neto entregado:** \_\_\_\_\_ GJ

**4 Firma(s):**

Nombre y datos de contacto de la compañía proveedora:

\_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_ Lugar/puerto: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Receptor: \_\_\_\_\_

## PARTE D

### 19 FORMACIÓN

#### 19.1 Objetivo

El objetivo de este capítulo es garantizar que la gente de mar a bordo de los buques regidos por este código cuente con las debidas cualificaciones, formación y experiencia.

#### 19.2 Prescripciones funcionales

Las compañías se cerciorarán de que la gente de mar a bordo de los buques que consumen gases u otros combustibles de bajo punto de inflamación haya recibido formación que la capacite para el cargo que vaya a desempeñar y los cometidos y responsabilidades que vaya a asumir, teniendo en cuenta las disposiciones que figuran en el Convenio y el Código de formación, enmendados.

El presente Código entró en vigor de forma general y para España el 1 de enero de 2017, al haber entrado en vigor en esa misma fecha las enmiendas a los capítulos II-1 y II-2 del Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar, 1974, adoptadas en Londres el 11 de junio de 2015 mediante Resolución MSC.392(95), de conformidad con lo dispuesto en el artículo VIII b) vii) 2) de dicho Convenio.

Madrid, 29 de marzo de 2017.–La Secretaria General Técnica, Beatriz Larrotcha Palma.