

ANEXO 1

**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 (en más, 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, 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 consuman 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 SOLAS.

ANEXO

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

ÍNDICE

Sección	Página
1 PREÁMBULO	8
PARTE A	9
2 GENERALIDADES	9
2.1 Ámbito de aplicación	9
2.2 Definiciones	9
2.3 Proyectos alternativos	12
3 OBJETIVO Y PRESCRIPCIONES FUNCIONALES	12
3.1 Objetivo	12
3.2 Prescripciones funcionales	13
4 PRESCRIPCIONES GENERALES	14
4.1 Objetivo	14
4.2 Evaluación de riesgos	14
4.3 Limitación de las consecuencias de explosiones	14
PARTE A-1 PRESCRIPCIONES ESPECÍFICAS RELATIVAS A LOS BUQUES QUE CONSUMEN GAS NATURAL COMO COMBUSTIBLE	16
5 PROYECTO Y DISPOSICIÓN DEL BUQUE	16
5.1 Objetivo	16
5.2 Prescripciones funcionales	16
5.3 Reglas – Generalidades	17
5.4 Conceptos de espacios de máquinas	20
5.5 Reglas aplicables a los espacios de máquinas protegidos contra los gases	21
5.6 Reglas aplicables a los espacios de máquinas protegidos por desactivación en caso de emergencia	21

5.7	Reglas aplicables a la ubicación y protección de las tuberías de combustible	22
5.8	Reglas aplicables al proyecto de los cuartos de preparación del combustible	22
5.9	Reglas aplicables a los sistemas de sentina	22
5.10	Reglas aplicables a las bandejas de goteo	23
5.11	Reglas aplicables a la disposición de entradas y otras aberturas en espacios cerrados	23
5.12	Reglas aplicables a las esclusas neumáticas	24
6	SISTEMA DE CONTENCIÓN DE COMBUSTIBLE	24
6.1	Objetivo	24
6.2	Prescripciones funcionales	24
6.3	Reglas – Generalidades	25
6.4	Reglas aplicables a la contención de combustible de gas licuado	26
6.5	Reglas aplicables a las cisternas portátiles de combustible de gas licuado	63
6.6	Reglas aplicables a la contención de combustible GNC	64
6.7	Reglas aplicables al sistema de alivio de presión	65
6.8	Reglas aplicables al límite de carga de los tanques de combustible de gas licuado	71
6.9	Reglas aplicables al mantenimiento de la condición de almacenamiento del combustible	72
6.10	Reglas aplicables al control de la atmósfera en el interior del sistema de contención de combustible	73
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)	74
6.12	Reglas aplicables al control ambiental de los espacios que rodean a los tanques independientes de tipo C	74
6.13	Reglas aplicables a la inertización	74
6.14	Reglas aplicables a la producción y almacenamiento de gas inerte a bordo	75
7	PROYECTO GENERAL DE TUBERÍAS Y DE MATERIALES	75
7.1	Objetivo	75
7.2	Prescripciones funcionales	75

7.3	Reglas aplicables al proyecto general de tuberías	76
7.4	Reglas aplicables a los materiales	80
8	TOMA DE COMBUSTIBLE	87
8.1	Objetivo	87
8.2	Prescripciones funcionales	87
8.3	Reglas aplicables al puesto de toma de combustible	88
8.4	Reglas aplicables al colector	88
8.5	Reglas aplicables al sistema de toma de combustible	88
9	ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE A LOS EQUIPOS QUE LO CONSUMEN ..	89
9.1	Objetivo	89
9.2	Prescripciones funcionales	89
9.3	Reglas aplicables a la duplicación de la alimentación de combustible	90
9.4	Reglas aplicables a las funciones de seguridad de los sistemas de alimentación de gas	90
9.5	Reglas aplicables a la distribución de combustible fuera del espacio de máquinas	91
9.6	Reglas aplicables a la alimentación de combustible a equipos en espacios de máquinas protegidos contra los gases	91
9.7	Reglas aplicables a la alimentación de combustible de gas a los equipos en espacios de máquinas protegidos por desactivación en caso de emergencia	92
9.8	Reglas aplicables al proyecto de los conductos ventilados y los tubos exteriores contra fugas de gas del tubo interior	92
9.9	Reglas aplicables a compresores y bombas	93
10	GENERACIÓN DE POTENCIA, INCLUIDA LA PROPULSIÓN Y OTROS EQUIPOS DE GAS	94
10.1	Objetivo	94
10.2	Prescripciones funcionales	94
10.3	Reglas aplicables a los motores de combustión interna de pistones	94
10.4	Normas aplicables a las calderas principales y auxiliares	96
10.5	Reglas aplicables a las turbinas de gas	97

11	SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS	97
11.1	Objetivo	97
11.2	Prescripciones funcionales	97
11.3	Reglas aplicables a la prevención contra incendios	97
11.4	Reglas aplicables al colector contra incendios	98
11.5	Reglas aplicables al sistema de aspersión de agua	99
11.6	Reglas aplicables al sistema de extinción de incendios a base de polvo químico seco	99
11.7	Reglas aplicables al sistema de detección de incendios y de alarma	100
12	PREVENCIÓN DE EXPLOSIONES	100
12.1	Objetivo	100
12.2	Prescripciones funcionales	100
12.3	Reglas – Generalidades	100
12.4	Reglas aplicables a la clasificación de zonas	101
12.5	Emplazamientos de zonas potencialmente peligrosas	101
13	VENTILACIÓN	102
13.1	Objetivo	102
13.2	Prescripciones funcionales	102
13.3	Reglas – Generalidades	103
13.4	Reglas aplicables a los espacios de las conexiones de los tanques	105
13.5	Reglas aplicables a los espacios de máquinas	105
13.6	Reglas aplicables a los cuartos de preparación del combustible	105
13.7	Reglas aplicables a los puestos de toma de combustible	106
13.8	Reglas aplicables a los conductos y tubos dobles	106
14	INSTALACIONES ELÉCTRICAS	106
14.1	Objetivo	106
14.2	Prescripciones funcionales	106
14.3	Reglas – Generalidades	107

15	SISTEMAS DE CONTROL, VIGILANCIA Y SEGURIDAD	108
15.1	Objetivo	108
15.2	Prescripciones funcionales	108
15.3	Reglas – Generalidades	108
15.4	Reglas aplicables a la vigilancia de la toma de combustible y los tanques de combustible de gas licuado	109
15.5	Reglas aplicables al control de la toma de combustible	111
15.6	Reglas aplicables a la vigilancia de los compresores de gas	111
15.7	Reglas aplicables a la vigilancia de los motores de gas	111
15.8	Reglas aplicables a la detección de gas	111
15.9	Reglas aplicables a la detección de incendios	112
15.10	Reglas aplicables a la ventilación	113
15.11	Reglas aplicables a las funciones de seguridad de los sistemas de alimentación de combustible	113
ANEXO	NORMA PARA LA UTILIZACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE ESTADO LÍMITE EN EL PROYECTO DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN DE COMBUSTIBLE DE CARACTERÍSTICAS INNOVADORAS	117
PARTE B-1		126
16	FABRICACIÓN, CALIDAD Y PRUEBAS	126
16.1	Generalidades	126
16.2	Reglas y especificaciones generales relativas a las pruebas	126
16.3	Soldadura de materiales metálicos y pruebas no destructivas del sistema de contención de combustible	128
16.4	Otras reglas para la construcción con materiales metálicos	133
16.5	Pruebas	133
16.6	Soldaduras, termotratamiento postsoldadura y pruebas no destructivas	136
16.7	Reglas aplicables a las pruebas	137

PARTE C-1	140
17 EJERCICIOS Y PRÁCTICAS DE EMERGENCIA	140
18 FUNCIONAMIENTO	140
18.1 Objetivo	140
18.2 Prescripciones funcionales	140
18.3 Reglas aplicables al mantenimiento	141
18.4 Reglas aplicables a las operaciones de toma de combustible	141
18.5 Reglas aplicables a las entradas en espacios cerrados	144
18.6 Reglas aplicables a la inertización y purga de los sistemas de combustible	144
18.7 Reglas aplicables a trabajos en caliente en los sistemas de contención de la carga o en sus cercanías	144
ANEXO NOTA DE ENTREGA DE COMBUSTIBLE GNL	145
PARTE D	147
19 FORMACIÓN	147
19.1 Objetivo	147
19.2 Prescripciones funcionales	147

1 PREÁMBULO

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

El criterio fundamental del presente código consiste en establecer disposiciones de carácter obligatorio para la disposición, instalación, control y vigilancia de maquinaria, equipo y sistemas que consumen 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 de presente código se tuvo presente que debía basarse en principios firmes de arquitectura y de ingeniería navales y en el conocimiento más completo disponible de la experiencia operacional, en datos recogidos en el terreno y en 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. El criterio 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 gas natural que se consume como combustible. 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 gases y 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 todos 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 pérdida de vidas humanas, lesiones, daños ambientales o la pérdida de bienes o intereses financieros.

2.2.2 *Manga (B)*: la 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*: el trasvase de combustible líquido o gaseoso de una instalación en tierra o flotante a los tanques permanentes de los buques o conexión de cisternas portátiles al sistema de alimentación 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, con base en una norma reconocida.¹

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

2.2.6 *Puestos de control*: los 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 ("P₀")*: la 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 válvula bidireccional y 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.

¹ Véanse las normas de la serie IEC 60079 (Atmósferas explosivas), y la norma IEC 60092-502:1999 (*Electrical Installations in Ships – Tankers – Special Features*).

2.2.11 *Espacios cerrados*: espacios dentro de los cuales, ante la falta de ventilación artificial, la ventilación será limitada y en los cuales las atmósferas explosivas no se dispersarán de manera natural.²

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 espacio, y que permiten liberar la sobrepresión por orificios a tal fin.

2.2.15 *Sistema de contención de combustible*: la 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 que queda encerrado en la estructura del buque en 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*: el 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 *Equipo de gas*: toda unidad dentro del buque que consuma gas como combustible.

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

² Véase también la definición en la norma IEC 60092-502:1999.

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)*: la 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*: el 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 las válvulas aliviadoras 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), sujeta mediante aislamiento a 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 *Zonas no potencialmente peligrosas*: zonas en las cuales no se prevé que se formará una atmósfera de gas explosiva en cantidades que requieran precauciones especiales para la construcción, instalación y el empleo de equipo.

2.2.34 *Cubierta expuesta*: una 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*: la 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*: el 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.³

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 inadmisibile*: se produce cuando no es posible mantener o restablecer el funcionamiento normal de las máquinas propulsoras llegado el caso en 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 Proyectos alternativos

2.3.1 El presente código contiene prescripciones funcionales aplicables a todas las instalaciones y dispositivos 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 utilizarlos 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, elemento de equipo o de cierto tipo de éstos que estén prescritos por el presente código.

3 OBJETIVO Y PRESCRIPCIONES FUNCIONALES

3.1 Objetivo

Este Código tiene por objeto promover el proyecto, construcción y funcionamiento en condiciones seguras y ecológicas de los buques, 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 de gas o combustibles de bajo punto de inflamación.

³ Véase también la norma IEC 60092-502:1999 (*Electrical Installations in Ships – Tankers – Special Features*).

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 el proyecto y la disposición de los sistemas, como los de ventilación, detección y 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 inadmisibles.

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 alimentación, 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 el venteo 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 su aplicación prevista.

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 inadmisibles ni deje fuera de funcionamiento equipo de 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 la 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 asegurarse de 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 asegurarse de que se preste atención a los riesgos que conlleva el consumo 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 aceptables y reconocidas y, como mínimo, deberían tenerse en cuenta la pérdida de función, los daños de componentes, incendio, explosión y descarga eléctrica. El análisis deberá garantizar 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 pueda contener fuentes de descarga⁴ y 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;

⁴ Las tuberías de combustible de doble pared no se consideran posibles fuentes de descarga.

- .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 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 combustibles líquidos; 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 CONSUMEN 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, el sistema de almacenamiento de combustible, el equipo de alimentación 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 y 3.2.12 a 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 alimentación 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 considera 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 necesita ser superior a $B/15$ o 2 m, si este valor es menor, cuando las planchas del forro están situadas por dentro de una distancia 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 m³, 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 e inferior a 0,04 para los buques de carga.⁵
- .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 proel 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.

⁵ El valor f_{CN} representa las averías por abordaje que pueden ocurrir en una zona delimitada por los límites longitudinales previstos del tanque de combustible únicamente, y no puede considerarse ni utilizarse como la probabilidad de que el tanque resulte averiado en caso de abordaje. La probabilidad real será mayor si se tienen en cuenta averías más extensas que incluyan zonas a proa y a popa 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:

$$f_t = 1 - r(x_1, x_2, b)^6$$

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:

$$f_v = 1,0 - 0,8 ((H-d) / 7,8), \text{ si } (H - d) \text{ es inferior o igual a } 7,8 \text{ m. } f_v \text{ no deberá ser superior a } 1.$$

$$f_v = 0,2 - 0,2 ((H-d) - 7,8) / 4,7), \text{ en los demás casos, } f_v \text{ no deberá ser inferior a } 0.$$

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 necesita ser superior a $B/15$ o 2 m, si este valor es menor, cuando las planchas del forro estén situadas por dentro de una distancia 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 m³, 0,8 m;
 - .2 para $1\,000 \text{ m}^3 < V_c < 5\,000 \text{ m}^3$, $0,75 + V_c \times 0,2/4\,000 \text{ m}$;

⁶ Cuando el límite exterior del tanque de combustible se encuentre por fuera del límite dado por la línea de flotación máxima de compartimentado, se considerará que b equivale a 0.

.3 para $5\,000\text{ m}^3 \leq V_c < 30\,000\text{ m}^3$, $0,8 + V_c/25\,000\text{ m}$; 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 ubicado en sentido 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 5.3.4.3 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 que están dispuestos de modo tal que se considera que están protegidos contra los gases en todas las situaciones, 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 todas las situaciones normales, aunque en ciertas condiciones excepcionales pueden convertirse en potencialmente peligrosos. En condiciones excepcionales de peligro debido al gas, se desactivarán automáticamente el equipo y las máquinas que no son seguros (fuentes de ignición), 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. El venteo está proyectado para hacer frente a un marco hipotético 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 alimentación 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 de gas para la propulsión y la generación eléctrica estarán instalados en dos o más espacios de máquinas que no compartan un límite común a menos que se pueda probar de manera documentada que un siniestro dado no afectaría a ambos espacios a la vez.

- .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 la alimentación 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 de la alimentación de combustible a un espacio de máquinas cualquiera no provoque una pérdida de potencia inadmisibles.

5.6.5 Los espacios de máquinas protegidos por desactivación en caso de emergencia 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 se afecte la integridad del espacio adyacente ni 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 de 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 de 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 combustibles cubiertos por este código estarán separados de los sistemas de sentina situados en espacios en los que no pueda haber dichos combustibles.

5.9.2 Cuando el combustible se transporte en un sistema de contención que requiera una segunda barrera, se proveerán medios adecuados de drenaje para hacer frente a cualquier fuga que se descargue 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 fugas o roturas de los tanques que los contienen.

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 Las bandejas de goteo estarán aisladas 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 que se haya hecho.

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

5.11.1 No se permitirá el acceso directo de 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 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 se dispondrán de manera que se impida la entrada no intencional del personal. Si el acceso a dichos espacios no es desde la cubierta expuesta, se utilizarán medios de estanquidad para impedir la fuga 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 espacio potencialmente peligroso adyacente.

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 aislado 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 m² 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 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 dispararán 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 al perderse la presión.

5.12.7 No se interrumpirá el suministro eléctrico al equipo esencial requerido a efectos de seguridad, el cual deberá ser de tipo certificado como seguro. Dicho equipo puede incluir el equipo de alumbrado, de detección de incendios, los sistemas de altavoces y los sistemas de 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 debidos a la presencia de 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 disponibilidad de los dispositivos de salvamento.
- .2 la presión y temperatura dentro del 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 inadmisibile; y
 - .4 si se utilizan cisternas 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.

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 las conexiones de los tanques de almacenamiento de tipo C. Sin embargo, podrán aceptarse también las conexiones situadas por debajo del nivel más alto en el caso de otros tipos de tanque después de un examen especial por la Administración.

6.3.6 La tubería situada entre el tanque y la primera válvula que descarga líquido en caso de fallo de la tubería tendrá 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 puedan verse sometidos los mamparos ante el marco hipotético de fuga máxima. 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 venteo 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, se protegerá la estructura de acero del buque de posibles fugas procedentes de las conexiones de los tanques y de otras fuentes de fugas instalando bandejas de goteo. El material de las bandejas 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 ventear 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 al venteo 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 las cisternas 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 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, tratándose de sistemas de contención de combustible que se utilicen exclusivamente para la navegación restringida. Por otra parte, 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.^{7,8}

⁷ Véase la Recomendación N° 034 de la IACS.

⁸ Las condiciones ambientales del Atlántico norte se refieren a las condiciones de las olas. Se utilizan temperaturas supuestas para determinar las cualidades materiales apropiadas con respecto a las temperaturas de proyecto; ésta es otra cuestión que no se tiene previsto cubrir en 6.4.1.4.

6.4.1.5 Al proyectar los sistemas de contención de combustible de gas licuado se preverán márgenes de seguridad adecuados:

- .1 para resistir, sin sufrir averías, 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 adecuarse a todas las circunstancias que impliquen cierto grado de incertidumbre, como las correspondientes a las cargas, los modelos estructurales, la fatiga, la corrosión, los efectos térmicos, la variabilidad de los materiales y 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 se indican en 6.4.15. Así, existen tres categorías principales de condiciones de proyecto, a saber:

- .1 Condiciones de proyecto de 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 ocurran pérdidas de integridad estructural. En la fase de 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 al nivel de las torres y otras fijaciones; y
 - .10 cargas de prueba.
- .2 Condiciones de proyecto de 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 para accidentes: el sistema de contención de combustible de gas licuado cumplirá cada una de las siguientes condiciones de proyecto para accidentes (sucesos accidentales o anormales), cubiertas en este código:
 - .1 Abordaje: el sistema de contención de combustible de gas licuado resistirá las cargas de 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 ni 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 marcos hipotéticos 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 ocurrir 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 asegurarse de 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 la selección de materiales, revestimientos, compensación por corrosión, protección catódica e 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 de modo tal que proporcionen medios adecuados de acceso a las zonas que deban inspeccionarse según se indique en el plan de inspección o reconocimiento. Por otra parte, los sistemas de contención de combustible de gas licuado, incluido todo el correspondiente equipo interno, se proyectarán y construirán de forma tal que permitan garantizar la seguridad durante las operaciones y las actividades de inspección y 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 entera, 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 podrá reducir el tamaño y la configuración o la disposición de la barrera secundaria, o incluso prescindir de esta barrera, 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 respecto de los cuales se haya determinado que las probabilidades de que ocurran fallos estructurales que se puedan propagar hasta alcanzar estado crítico son extremadamente bajas, pero sin poder excluirse al mismo tiempo 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 resolver y eliminar de manera segura dichas fugas (por "estado crítico" se entiende cuando la fisura alcanza un estado inestable).

Las medidas que se adopten deberán cumplir las siguientes prescripciones:

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

6.4.2.4 No será necesario instalar 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 considerarse insignificante.

6.4.2.5 Si los tanques independientes requieren 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 total
Independiente:	
Tipo A	Barrera secundaria total
Tipo B	Barrera secundaria parcial
Tipo C	No se necesita barrera secundaria

6.4.4 Proyecto de las barreras secundarias

El proyecto de las barreras secundarias, incluida la pantalla antirrociadura, en su caso, se efectuará de manera que:

- .1 permita contener toda fuga de combustible de gas licuado prevista durante un periodo de 15 días, a menos que se apliquen diferentes criterios para viajes concretos, teniendo en cuenta el espectro de cargas a que se hace referencia en 6.4.12.2.6;

- .2 las circunstancias físicas, mecánicas u operacionales que se presenten dentro del tanque de combustible de gas licuado y que pudiesen causar averías en la barrera principal no perjudiquen 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 provoque la pérdida de estanquidad a los líquidos de las barreras primaria ni 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 la Administración apruebe los métodos prescritos en 6.4.4.4 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 defectos indicados en .1;
 - .3 los factores de escala que se utilizarán para determinar los criterios de aceptación si no se llevan a cabo pruebas con modelos a plena escala; 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 consistirán en 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 las fugas de combustible de gas licuado hacia abajo, hacia la barrera secundaria parcial, y medios para eliminar el líquido, que puede ser por 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 que se pueda dar con el 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 de 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 debido a la configuración del lugar, 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 apoyados en el casco, de modo que se 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 expansión del tanque por variaciones de temperatura y flexiones del casco sin que ello provoque esfuerzos excesivos al tanque y al 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 pudieran poner en peligro la estructura del casco.

6.4.6.3 Los soportes y los dispositivos de apoyo resistirán las cargas definidas en 6.4.9.3.8 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 soportar las cargas impuestas por la estructura y el equipo conexo. 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, pasos de tuberías a través de paredes, medidores 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. Incluyen 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 Al establecer 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) las cargas debidas al 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 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, a menos que:
- .1 La Administración acepte valores inferiores de temperatura ambiente cuando se trate de buques que naveguen en zonas restringidas. Por otra parte, también se podrán prescribir valores más elevados de temperatura ambiente.
 - .2 Tratándose de 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 todo el aislamiento térmico del tanque.
- .3 A reserva de las condiciones especiales que pueda establecer la Administración y las limitaciones prescritas en 6.4.15 respecto de los diversos tipos de tanque, se podrá aceptar una presión de vapor (P_h) superior a P_o en relación con las condiciones específicas del lugar (por ejemplo, puertos u otros sitios), en donde las cargas dinámicas son menores.
- .4 La presión interna se determinará con arreglo a lo siguiente:
- .1 (P_{gd})_{máx} es la presión en los líquidos que se determina utilizando las aceleraciones máximas de proyecto.
 - .2 ($P_{gd \text{ site}}$)_{máx} es la presión en los líquidos que se determina utilizando las aceleraciones específicas de los emplazamientos.
 - .3 P_{eq} debería ser superior a P_{eq1} y P_{eq2} , calculadas de la siguiente manera:

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

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

- .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 presión interna del líquido P_{gd} resultante de los efectos combinados de la gravedad y las aceleraciones dinámicas se calcularán aplicando la siguiente fórmula:

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

donde:

α_{β} = aceleración adimensional (es decir, relativa a la aceleración de la gravedad) resultante de las cargas dinámicas y gravitatorias, en una dirección arbitraria β (véase la figura 6.4.1).

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

Z_β = 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 β (véase la figura 6.4.2).

A la hora de determinar Z_β , 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 (V_d) no supere el valor siguiente:

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

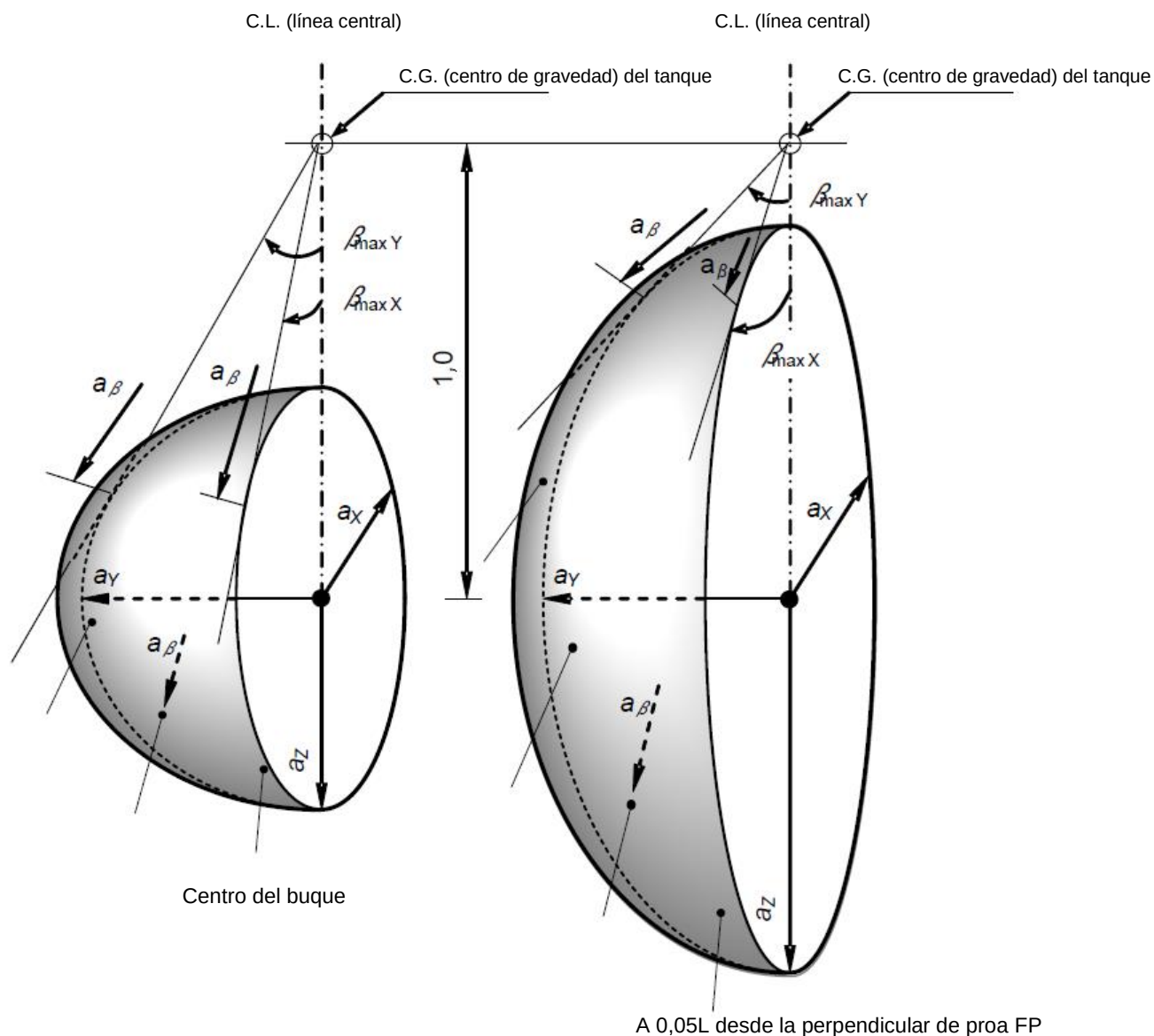
donde:

V_t = volumen del tanque sin contar las bóvedas; y

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

ρ = densidad máxima del combustible de gas licuado (kg/m^3) a la temperatura de proyecto.

Se tendrá en cuenta la dirección que da el valor máximo (P_{gd})_{máx} o ($P_{gd \text{ site}}$)_{máx}. Cuando es necesario tener en cuenta los componentes de 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_β = aceleración resultante (estática y dinámica) en la dirección arbitraria β
 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

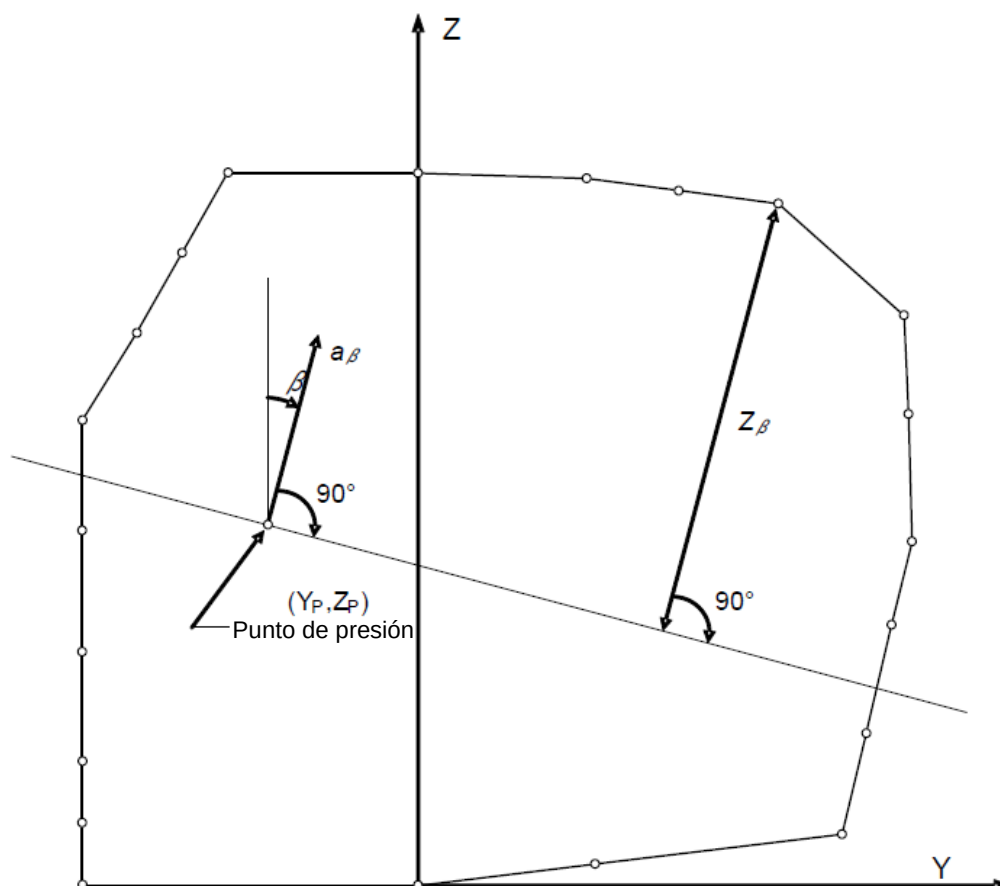


Figura 6.4.2: Determinación de la presión hidrostática interna

6.4.9.3.3.2 Presión externa

Las cargas de 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 °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 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 derivado de 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 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 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 tendrá en cuenta toda otra carga a la que no se haya hecho referencia de manera específica, y que pudiera 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 hayan clasificado como cargas permanentes, funcionales ni 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, de la guiñada y el balance, así como del componente de gravedad del balance; y
- .3 aceleración longitudinal: aceleraciones de la oscilación longitudinal y del cabeceo y del componente de gravedad del cabeceo.

La Administración propondrá y aprobará los métodos para prever las aceleraciones resultantes del movimiento del buque.⁹

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 equipos 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 de nieve y 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 los medios de apoyo en condiciones anormales y no planificadas.

6.4.9.5.1 Cargas por abordaje

Las cargas por abordaje se determinarán sobre la base del sistema de contención de combustible en condiciones de carga completa aplicando una fuerza inercial correspondiente, en el cuadro *infra*, a "a" en marcha avante y a "a/2" al ciar, donde "g" es la aceleración de la gravedad.

⁹ Véase la sección 4.28.2.1 del Código CIG, la cual contiene las fórmulas de orientación para los componentes de la aceleración.

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

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 fijación en el casco, tanto en el casco adyacente como 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 contener 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 moderados. Asimismo, se podrán emplear 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 escala normal.

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 Marcos hipotéticos de carga

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

6.4.11.2.2 Se tendrán en cuenta los marcos hipotéticos 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 aplicando las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \sigma_{x.st} \pm \sqrt{\sum (\sigma_{x.dyn})^2} \\ \sigma_y &= \sigma_{y.st} \pm \sqrt{\sum (\sigma_{y.dyn})^2} \\ \sigma_z &= \sigma_{z.st} \pm \sqrt{\sum (\sigma_{z.dyn})^2} \\ \tau_{xy} &= \tau_{xy.st} \pm \sqrt{\sum (\tau_{xy.dyn})^2} \\ \tau_{xz} &= \tau_{xz.st} \pm \sqrt{\sum (\tau_{xz.dyn})^2} \\ \tau_{yz} &= \tau_{yz.st} \pm \sqrt{\sum (\tau_{yz.dyn})^2}\end{aligned}$$

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 aceleración y de los componentes de tensión del casco debido a la flexión y la torsión.

6.4.12 Condiciones de proyecto

Se tendrán en cuenta todas las modalidades de fallo correspondientes a la hora de proyectar todos los marcos hipotéticos de carga pertinentes y las condiciones de proyecto. Estas últimas se presentan en la primera parte de este capítulo, y los marcos hipotéticos de carga están contemplados en 6.4.11.2.

6.4.12.1 Condiciones de proyecto de resistencia a la rotura

6.4.12.1.1 La capacidad estructural se podrá determinar por medio de pruebas, o mediante análisis, en este último caso teniendo en cuenta las propiedades elásticas y plásticas de los materiales, mediante la aplicación de un análisis elástico lineal simplificado o de 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 de la siguiente manera:

Cargas permanentes:	Valores previstos
Cargas funcionales:	Valores especificados
Cargas ambientales:	Respecto de las cargas debidas a las olas: la carga más grande probable que se pueda registrar con 10^8 olas incidentes.

- .3 A los fines de la evaluación de la resistencia a la rotura, se aplicarán los siguientes parámetros:

- .1 R_e = límite mínimo de elasticidad especificado a temperatura ambiente (N/mm^2). Si la curva de esfuerzos-deformaciones no muestra un límite de elasticidad definido, se aplicará un límite de elasticidad de 0,2 %.
- .2 R_m = resistencia mínima especificada a la tracción a temperatura ambiente (N/mm^2).

En los casos en los que es inevitable soldar metales de distinta resistencia a la tracción, es decir, aquellas soldaduras en las que el metal de aportación tiene una resistencia a la tracción inferior a la del material de base, como puede ocurrir con algunas aleaciones de aluminio, se utilizarán las respectivas R_e y R_m 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 material de base. Si esto no es posible, no se incorporarán en los sistemas de contención de combustible de gas licuado estructuras soldadas hechas de esos materiales.

Las propiedades señaladas *supra* se corresponderán con las propiedades mecánicas del material que se han especificado, incluido el metal de aportación con la soldadura ya terminada. Si la Administración lo considera necesario, se podrán tener en cuenta la resistencia a la tracción y el límite de elasticidad aumentado a baja temperatura.

- .4 El esfuerzo equivalente σ_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:

σ_x =	esfuerzo normal total en el eje x;
σ_y =	esfuerzo normal total en el eje y;
σ_z =	esfuerzo normal total en el eje z;
τ_{xy} =	esfuerzo cortante total en el plano x-y;
τ_{xz} =	esfuerzo cortante total en el plano x-z; y
τ_{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 quedarán 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 fatiga de proyecto

- .1 La condición de fatiga de proyecto 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 responderá al siguiente cálculo:

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

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 respectivo nivel de esfuerzo 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 normalmente se considera 1 000 como mínimo. 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 estándar de los datos experimentales pertinentes hasta la avería definitiva. El uso de las curvas S-N derivadas de una manera diferente presupone el ajuste a 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, de la siguiente manera:

Cargas permanentes:	Valores previstos
Cargas funcionales:	Valores especificados o historial especificado
Cargas ambientales:	Historial previsto de la carga, pero que no sea inferior a 10^8 ciclos

Si se utilizan conjuntos de carga dinámica simplificados para calcular la resistencia a la fatiga, la Administración deberá considerarlos 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 la mecánica de la fractura de la propagación de las fisuras por fatiga a fin de determinar:

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

Al analizar la propagación de fisuras, se tomará como base la fisura inicial más grande que no sea detectable por el método de inspección aplicado, teniendo en cuenta las pruebas no destructivas admisibles y el criterio de inspección visual, según sea aplicable.

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

Las medidas que se adopten se ajustarán a 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 alcance estado crítico, no deberá ser inferior a 15 días, a menos que sean aplicables reglas diferentes relativas a buques dedicados a 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:

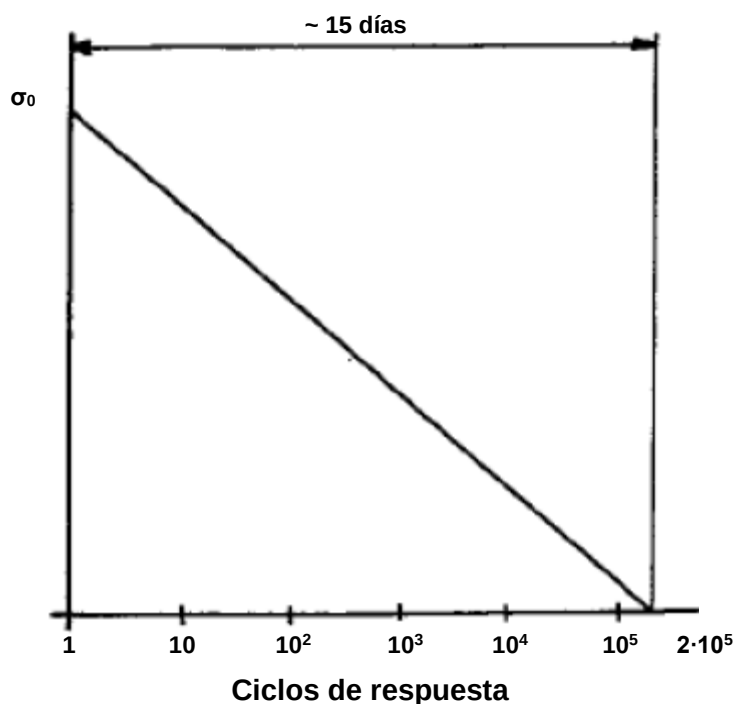
C_w será inferior o igual a 0,5.

El tiempo restante previsto de propagación del fallo, a partir de la mayor fisura que no sea detectable por métodos de inspección durante el servicio hasta que alcance estado crítico, no deberá ser inferior a tres (3) veces el intervalo de inspección.

- .9 En determinados sitios 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 fallo inicial supuesto hasta que alcance estado crítico, no deberá ser inferior a tres (3) veces la vida útil del tanque.



σ_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 presenta como ejemplo de un cálculo.

Figura 6.4.3: Distribución de la carga simplificada

6.4.12.3 Condición de proyecto para accidentes

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

6.4.12.3.2 El análisis se basará en los valores característicos, de la siguiente manera:

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 los tipos de tanques. Al realizar 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 total o parcial, se supondrá que está a la temperatura del combustible de gas licuado a presión atmosférica solamente en un tanque cualquiera;
- .3 por lo que se refiere al servicio a escala mundial, se considerará que la temperatura ambiente es 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, a la inversa, 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 dará por descontada 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, como se definen en 6.4.13.3.6 y 6.4.13.3.7;
- .6 cuando sea aplicable, se tendrá en cuenta el efecto de enfriamiento que tiene el ascenso de los gases de evaporación del combustible de gas licuado que ha 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 6.4.13.1.1.4;
- .9 por lo que respecta a los elementos estructurales que interconectan el forro interior y 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 sea inferior a 0 °C debido a la influencia de la temperatura del combustible de gas licuado deberán ajustarse a lo establecido en el cuadro 7.5. Aquí se incluye la estructura del casco que sirve de apoyo a los tanques de combustible de gas licuado, las planchas del forro inferior, las planchas de los mamparos longitudinales, las planchas de los mamparos transversales, las planchas de cubierta, 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 equivalente, 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 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 podrán ver sometidos, sus propiedades y su uso previsto.

6.4.13.2.3 Si se utilizan materiales no metálicos¹⁰, 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 el combustible 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 fallos por fatiga y a la propagación de fisuras.

6.4.13.2.4 Cuando proceda, se efectuarán pruebas de estas propiedades para verificar las oscilaciones entre la temperatura máxima prevista en servicio y 5 °C por debajo de la temperatura de proyecto mínima, pero que no será inferior a -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 en las barreras primarias y secundarias que no sean resistentes a la propagación de incendios ni de las llamas, siempre que estén protegidos por un sistema adecuado, como un entorno de gas inerte permanente, o que estén provistas de una barrera pirorretardante.

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 usados en los sistemas de contención de combustible de gas licuado se adecuarán a las cargas de proyecto.

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

- .1 compatibilidad con el combustible de gas licuado;
- .2 solubilidad en el combustible de gas licuado;
- .3 absorción del combustible de gas licuado;

¹⁰ Véase la sección 6.4.16.

- .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 fallos por fatiga y a la propagación de fisuras.

6.4.13.3.3 Cuando proceda, se efectuarán pruebas de estas propiedades para verificar las oscilaciones entre la temperatura máxima prevista en servicio y 5 °C por debajo de la temperatura de proyecto mínima, pero que no será inferior a -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 las llamas, y estarán adecuadamente protegidos contra la penetración de vapor de agua y los fallos mecánicos. Si el aislamiento térmico se encuentra en la cubierta expuesta o por encima de ésta, y al nivel 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 que sea eficaz y aprobado.

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 que sea eficaz y aprobado.

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 completa.

6.4.14.1.2 A continuación se facilitan los detalles de las juntas soldadas de los tanques independientes de tipo C, así como de las barreras primarias estancas a los líquidos de los tanques independientes de tipo B construidas 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.¹¹ 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 soldaduras del forro del tanque a los mamparos longitudinales de los 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 de encolado y otros procedimientos de ensamblado

6.4.14.2.1 En el proyecto de encolado de juntas (o de ensamble 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 de proyecto*

6.4.15.1.1.1 Los tanques independientes de tipo A son tanques que se proyectan principalmente mediante la aplicación de 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_o) será inferior a 0,07 MPa.

¹¹ En el caso de los tanques aislados por vacío sin registros, las juntas longitudinales y circunferenciales deberán cumplir las prescripciones mencionadas *supra*, con la excepción de la junta de soldadura de erección del forro exterior, que puede ser una soldadura de un solo lado con anillos cubrejuntas internos.

6.4.15.1.1.2 Se requerirá una barrera secundaria completa, como se prescribe 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, como se indica en 6.4.9.3.3.1, y las cargas de interacción con el sistema de soporte y de manipulación, así como una parte razonable del casco del buque.

6.4.15.1.2.2 Respecto de aquellas partes, como las estructuras de apoyo, que de otro modo no están regidas por 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, hasta donde resulten aplicables, y la flexión del buque en la zona de las estructuras de apoyo.

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 Condiciones de proyecto de resistencia a la rotura

6.4.15.1.3.1 En el caso de los tanques contruidos principalmente de superficies planas, al calcular los esfuerzos nominales de los elementos primarios y secundarios (las planchas y los refuerzos) utilizando prescripciones obligatorias, éstos no deberán ser superiores al menor de los dos valores $R_m/2,66$ o $R_e/1,33$ por lo que respecta a aceros al níquel, aceros al carbonomanganeso, aceros austeníticos y aleaciones de aluminio, en cuyo caso R_m y R_e se definen en 6.4.12.1.1.3. Sin embargo, si se realizan cálculos detallados respecto de los elementos principales, el esfuerzo equivalente σ_e , según lo definido en 4.18.1.4, podrá exceder lo indicado anteriormente hasta alcanzar un esfuerzo que sea aceptable a juicio de la Administración. Al realizarse los cálculos se tendrán en cuenta los efectos de la flexión, la fuerza cortante y la deformación axial y la 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.

6.4.15.1.3.2 Tratándose de 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 posibles pandeos.

6.4.15.1.4 Condición de proyecto para accidentes

6.4.15.1.4.1 Los tanques y sus medios de soporte se proyectarán para resistir las cargas accidentales y teniendo en cuenta las condiciones de proyecto especificadas en 6.4.9.5 y 6.4.1.6.3 según proceda.

6.4.15.1.4.2 Cuando los tanques y sus medios de soporte se vean sometidos a las cargas accidentales especificadas en 6.4.9.5, el esfuerzo ejercido no podrá exceder los criterios de aceptación especificados en 6.4.15.1.3, modificados según sea necesario teniendo en cuenta la baja probabilidad de que ocurra.

6.4.15.2 Tanques independientes de tipo B

6.4.15.2.1 Base de proyecto

6.4.15.2.1.1 Los tanques independientes de tipo B son tanques proyectados mediante la aplicación de pruebas con modelos, instrumentos de análisis precisos y métodos de análisis que permiten determinar los niveles de esfuerzo, la vida útil determinada por la resistencia a la fatiga y las características de propagación de las fisuras. Si dichos tanques constan principalmente de superficies planas (tanques prismáticos) la presión de vapor de proyecto (P_0) será inferior a 0,07 MPa.

6.4.15.2.1.2 Se dispondrá una barrera secundaria parcial con un sistema de protección de fugas menores de conformidad con lo prescrito en 6.4.3. El sistema de protección de fugas menores se proyectará según 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 métodos similares, así como análisis de la mecánica de la fractura, 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 de manipulación, 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 su respuesta y la de sus tanques de contención de combustible de gas licuado ante estas fuerzas y movimientos, a menos que se disponga de datos de buques similares.

6.4.15.2.3 Condiciones de proyecto de resistencia a la rotura

6.4.15.2.3.1 Deformación plástica

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

σ_m	$\leq f$
σ_L	$\leq 1,5 f$
σ_b	$\leq 1,5 F$
$\sigma_L + \sigma_b$	$\leq 1,5 F$
$\sigma_m + \sigma_b$	$\leq 1,5 F$
$\sigma_m + \sigma_b + \sigma_g$	$\leq 3,0 F$
$\sigma_L + \sigma_b + \sigma_g$	$\leq 3,0 F$

donde:

σ_m = esfuerzo primario equivalente general de la membrana;

σ_L = esfuerzo primario equivalente local de la membrana;

σ_b = esfuerzo flector primario equivalente;

σ_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 σ_m , σ_L , σ_g y σ_b , consúltense también la definición de categorías de esfuerzos que figuran en 6.4.15.2.3.6.

A y B deberán tener los siguientes valores mínimos:

	Aceros al níquel y aceros al carbonomanganeso	Aceros austeníticos	Aleaciones de 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 en el momento de conceder la aceptación de la Administración. Respecto de los tanques independientes de tipo B, construidos principalmente de superficies planas, los esfuerzos equivalentes admisibles en la 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 en el momento de conceder la aceptación de la Administración.

El espesor de la placa del forro y el tamaño del refuerzo 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 sujetos a presión externa y otras cargas que causan esfuerzos de compresión, de conformidad con normas reconocidas. El método deberá tener debidamente en cuenta la diferencia entre el esfuerzo de pandeo teórico y el práctico como resultado de la desalineación de los bordes de la plancha, la falta de rectilineidad o la deformación de las planchas, la ovalidad y la desviación con respecto a la forma circular pura a lo largo de un arco o una cuerda específicos, según proceda.

6.4.15.2.3.3 Condición de proyecto de 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 que se indica 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, dependiendo del grado de detectabilidad del defecto.

6.4.15.2.3.3.2 En el análisis de 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 que permitan determinar los factores de concentración de esfuerzos y la vida determinada por la resistencia a la fatiga de los elementos estructurales.

6.4.15.2.3.4 Condición de proyecto para accidentes

6.4.15.2.3.4.1 Los tanques y sus medios de soporte se proyectarán para resistir las cargas accidentales y teniendo en cuenta las condiciones de proyecto especificadas en 6.4.9.5 y 6.4.1.6.3, según corresponda.

6.4.15.2.3.4.2 Cuando los tanques y sus medios de soporte se vean sometidos a 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 esto ocurra.

6.4.15.2.3.5 Marcado

Toda marca del recipiente a presión se hará mediante un método que no cause intensificaciones de esfuerzo locales que sean 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, según se indica a continuación.

- .1 El *esfuerzo normal* es el componente del esfuerzo normal con respecto al plano de referencia.
- .2 El *esfuerzo de la membrana* es el componente del esfuerzo normal que se distribuye de forma uniforme y equivale al valor medio del esfuerzo en la sección transversal del grosor de la sección que se está examinando.
- .3 El *esfuerzo flector* es el esfuerzo variable en el espesor de la sección objeto de examen, tras la eliminación del esfuerzo de la 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 la resistencia a la fluencia traerán aparejados un fallo o al menos deformaciones importantes.
- .6 El *esfuerzo primario de la membrana general* es un esfuerzo de la membrana general que se distribuye de forma tal en la estructura que no conlleva la

redistribución de las cargas como consecuencia de la deformación permanente.

- .7 El *esfuerzo primario de la membrana local* surge cuando un esfuerzo de la membrana producido por la carga debida a la presión o a otra carga mecánica y que se relaciona con un efecto principal o de discontinuidad produce una distorsión excesiva en el trasvase de las cargas respecto de otras partes de la estructura. Un esfuerzo de ese tipo se clasifica como un esfuerzo primario de membrana local, si bien tiene algunas características propias de un esfuerzo secundario. Una región de esfuerzo podrá considerarse local si:

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

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

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 hacia otra región en la que se superan los límites del esfuerzo primario de la membrana general;

R = radio medio del buque;

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

f = esfuerzo primario de la membrana general admisible.

- .8 El *esfuerzo secundario* es un esfuerzo normal o esfuerzo cortante desarrollado por las limitaciones de las partes adyacentes o por la autorestricción 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 de proyecto

6.4.15.3.1.1 La base de proyecto para los tanques independientes de tipo C se basa en los criterios relativos a recipientes a presión modificados para incluir la mecánica de las fracturas y los criterios de propagación de fisuras. La presión mínima de proyecto 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 propagará 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:

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

siendo:

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

donde:

σ_m = esfuerzo de proyecto de la membrana primaria

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

- 55 N/mm² para acero ferrítico-perlítico, martensítico y austenítico;
- 25 N/mm² para las aleaciones de aluminio (5083-O);

C = la dimensión característica de un tanque; se tomará el mayor de los siguientes valores:

h , $0,75b$ o $0,45l$,

donde:

h = altura del tanque (dimensión en sentido vertical del buque) (m);

b = anchura del tanque (dimensión en sentido transversal del buque) (m);

l = longitud del tanque (dimensión en sentido longitudinal del buque) (m);

ρ_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 lleve a cabo la inspección y la prueba no destructiva a que se hace referencia en 16.3.6.4. Esta cifra se podrá aumentar hasta 1 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 pruebas parciales no destructivas, pero no serán inferiores a las indicadas 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 ya soldado y el tipo de junta y el proceso de soldadura, aunque en este caso se adoptará un coeficiente de eficacia que no será superior a 0,85. Para los materiales especiales, se reducirán los coeficientes mencionados en función de las propiedades mecánicas especificadas de la junta soldada.

6.4.15.3.2.2 La presión de 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, se considerará especialmente P_1 , aunque, en general, no se deberá considerar 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 otras partes $P_2 = 0$.

P_3 = efecto 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. Aquí se incluyen, entre otros, el peso de las bóvedas, el peso de las torres y tuberías, el efecto del producto si se encuentra parcialmente lleno, las aceleraciones y la deformación del casco. Además, se tendrá en cuenta el efecto local de las presiones externas o internas o ambas.

P_4 = presión externa resultante de la presión hidrostática de los recipientes a presión o parte de éstos ubicados en las cubiertas expuestas; en otras partes $P_4 = 0$.

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

Se determinará el espesor y la forma de las partes que están a presión de los recipientes a presión sometidas a la presión interna, como 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 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 a nivel 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 fatiga; y
- .3 Si así lo dispone la Administración, se tendrán debidamente en cuenta los esfuerzos secundarios y los esfuerzos térmicos.

6.4.15.3.3 Condición de proyecto de 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:

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

donde:

σ_m = esfuerzo primario equivalente general de la membrana;

σ_L = esfuerzo primario equivalente local de la membrana;

σ_b = esfuerzo flector primario equivalente;

σ_g = esfuerzo secundario equivalente; y

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

siendo R_m y R_e según se definen en 6.4.12.1.1.3. Con respecto a los esfuerzos σ_m , σ_L , σ_g y σ_b , consúltese también la definición de categorías de esfuerzos que figuran en 6.4.15.2.3.6. A y B tendrán los siguientes valores mínimos:

	Aceros al níquel y aceros al carbonomanganeso	Aceros austeníticos	Aleaciones de 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 el esfuerzo de pandeo teórico y el práctico como resultado de la desalineación de los bordes de las planchas, la ovalidad y la desviación con respecto a la forma circular pura a lo largo de un arco o una cuerda de longitud específica.

6.4.15.3.4 *Condición de proyecto de 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 °C, la Administración podrá disponer que se realice una verificación adicional para comprobar que cumple lo prescrito en 6.4.15.3.1.1 en relación con el esfuerzo estático y dinámico, lo cual dependerá del tamaño del tanque, su configuración y la disposición de sus medios de soporte y conexiones.

6.4.15.3.4.2 Si los tanques están 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 para accidentes*

6.4.15.3.5.1 Los tanques y sus medios de soporte se proyectarán para resistir las cargas accidentales y las condiciones de proyecto especificadas en 6.4.9.5 y 6.4.1.6.3, según corresponda.

6.4.15.3.5.2 Cuando el tanque y sus medios de soporte se vean sometidos a 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*

La marca prescrita del recipiente a presión se hará con un método que no cause intensificaciones de esfuerzos locales que sean inadmisibles.

6.4.15.4 *Tanques de membrana*

6.4.15.4.1 *Base de proyecto*

6.4.15.4.1.1 La base de proyecto para los sistemas de contención de membrana consiste en compensar la expansión o contracción térmicas y de otra índole 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 requerirá una barrera secundaria total, tal como se define en 6.4.3. La barrera secundaria se proyectará según lo prescrito 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, entonces P_o podrá aumentarse hasta que alcance 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 del 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 *Elementos que han de considerarse en el 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. Figuran, entre ellos, los siguientes:

- .1 Sucesos relacionados con el proyecto de resistencia a la rotura:
 - .1 fallo relacionado con la 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 sus estructuras de apoyo conexas; y
 - .7 avería de la estructura de apoyo en el casco;
- .2 Sucesos relacionados con el proyecto de 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 conexas; y
 - .4 fisuración por fatiga del forro interior del casco que deje entrar agua de lastre.
- .3 Sucesos relacionados con el proyecto para 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 ingreso de agua a través de la estructura del forro interior del casco.

Son inadmisibles los proyectos en los cuales un suceso interno aislado podría 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 de 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 modo de fallo que se haya calificado como crítico para el sistema de contención de combustible de gas licuado.

6.4.15.4.4.2 Cuando se realicen análisis estructurales del casco se tendrá en cuenta la presión interna, tal como se indica en 6.4.9.3.3.1. Por otra parte, se prestará especial atención a las flexiones del casco y 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 de resistencia a la rotura*

6.4.15.4.5.1 Se determinará la resistencia estructural de todos los componentes, subsistemas o conjuntos esenciales para las condiciones que se den durante el 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 resistencia relativos a los modos 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 se corresponderán con las consecuencias que tenga el modo 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, teniéndose en cuenta la presión interna, tal como se indica en 6.4.9.3.3.1, así como las reglas adecuadas especificadas para las cargas debidas al chapoteo de líquidos, definidas en 6.4.9.4.1.3.

6.4.15.4.6 *Condición de proyecto de fatiga*

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

6.4.15.4.6.2 Los cálculos de fatiga se realizarán de conformidad con lo dispuesto en 6.4.12.2, teniendo en cuenta las reglas correspondientes relacionadas con:

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

6.4.15.4.6.3 En el caso de los elementos estructurales acerca de los cuales se puede demostrar por medio de pruebas y/o análisis que una fisura no se propagará y causará 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 que se someten a inspecciones periódicas, y cuando una fisuración por fatiga desatendida puede empeorar y ocasionar un fallo simultáneo o en cascada de ambas membranas, cumplirán las reglas aplicables a la fatiga y a la mecánica de las fracturas indicadas en 6.4.12.2.8.

6.4.15.4.6.5 Los elementos estructurales que no sean accesibles para su inspección durante el servicio, y cuando una fisuración por fatiga puede propagarse sin aviso y ocasionar un fallo simultáneo o en cascada de ambas membranas, cumplirán las reglas aplicables a la fatiga y la mecánica de las fracturas indicadas en 6.4.12.2.9.

6.4.15.4.7 Condición de proyecto para accidentes

6.4.15.4.7.1 El sistema de contención y la estructura de fijación en el casco se proyectarán para contener 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 marcos hipotéticos adicionales de accidentes pertinentes sobre la base de un análisis de riesgos. Asimismo, se prestará particular 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 características innovadoras que no puedan proyectarse aplicando las disposiciones de la sección 6.4.15 se proyectarán basándose en esta sección y en los párrafos 6.4.1 a 6.4.14, según corresponda. Los proyectos de los sistemas de contención de combustible realizados con arreglo a lo dispuesto en esta sección se basarán en los principios del proyecto de estado límite, que constituye un método de proyecto estructural que puede aplicarse tanto a soluciones de proyecto establecidas 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 con arreglo a lo dispuesto en 6.4.15.

6.4.16.2.1 El proyecto de estado límite es un método sistemático según el cual cada elemento estructural se evalúa con respecto a posibles modalidades de fallo en las condiciones de proyecto señaladas en 6.4.1.6. El estado límite puede definirse como un estado más allá del cual la estructura, o parte de una 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 máxima aplicable en condición sin avería (sin daños).
- .2 Estados límite de fatiga, que corresponden a la degradación debida al efecto de la carga que varía con el tiempo (cíclica).
- .3 Estados límite accidentales, 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", la cual figura en el anexo de la parte A-1.

6.5 Reglas aplicables a las cisternas 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 propósito previsto.

6.5.2 Las cisternas de combustible portátiles estarán colocadas en zonas especialmente concebidas para tal propósito:

- .1 dotadas de protección mecánica, en función de su ubicación y las operaciones de carga;
- .2 si están situadas en cubiertas expuestas, estarán dotadas de sistemas de protección contra derramamientos y de sistemas de aspersión de agua con fines de enfriamiento; y
- .3 si están situadas en un espacio cerrado, se considerará que el espacio es un espacio de las conexiones de los tanques.

6.5.3 Las cisternas de combustible portátiles se fijarán a cubierta mientras estén conectadas a los sistemas del buque. Los medios para sostenerlas y fijarlas estarán proyectados para poder responder a las inclinaciones estáticas y dinámicas máximas previstas, y a los valores máximos de aceleración previstos, teniendo en cuenta las características del buque y la posición de las cisternas.

6.5.4 Se tendrán en cuenta la capacidad de resistencia y el efecto que tienen las cisternas de combustible portátiles 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 las cisternas portátiles estará conectado a un sistema de venteo fijo.

6.5.8 Los sistemas de control y vigilancia de las cisternas de combustible portátiles estarán integrados en el sistema de control y vigilancia del buque. El sistema de seguridad de las cisternas 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 las cisternas 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, todas las cisternas portátiles deberán poder aislarse en cualquier momento;
- .2 el aislamiento de una cisterna no repercutirá en la disponibilidad de las otras cisternas portátiles; y
- .3 las cisternas no excederán sus límites de llenado, como se indica 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 deberán estar certificados y aprobados por la Administración.

6.6.2 Los tanques de GNC deberán estar 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 6.2.7.7 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 posibilidad de tener que extinguir 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 las características de proyecto del sistema de contención de combustible y para el combustible que se transporte. Los espacios de 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 características 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 se puede eliminar la posibilidad de 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 venteo si los tanques están situados bajo cubierta. La Administración podrá aceptar una descarga directa desde una cubierta expuesta al aire libre cuando los tanques no sean más grandes que un contenedor de 40 pies a condición de que el gas descargado no pueda entrar en zonas seguras.

6.7.2.2 Los tanques de combustible de gas licuado se dotarán 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.¹² 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 para el proyecto del tanque. Una cantidad de válvulas que equivalga, como máximo, al 50 % de la capacidad total de alivio de presión podrán tener un valor de tarado de hasta un 5 % superior al MARVS a fin de permitir aumentar la presión en secuencia, 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;

¹² Véase la interpretación unificada GC9 de la IACS, titulada *Guidance for sizing pressure relief systems for interbarrier spaces*, 1988.

- .3 las válvulas aliviadoras de presión se construirán con materiales de 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, las tuberías de detección y de escape de las válvulas aliviadoras de presión accionadas por válvulas auxiliares serán de una construcción adecuadamente 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 dispondrán los procedimientos necesarios, que 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 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 venteo, el cual estará:

- .1 construido de manera que la presión se descargue libremente y normalmente se dirija verticalmente hacia arriba;
- .2 dispuesto de manera que permita reducir 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 venteo 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 venteo podrían limitarse a un valor inferior con arreglo a una consideración especial dispensada por 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, salida de aire o abertura a los espacios de alojamiento, de servicio y de control, u otra zona no potencialmente peligrosa que esté más cercana; y
- .2 la salida de escape de las instalaciones de máquinas más próxima.

6.7.2.9 Todas las demás salidas de venteo de 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 venteo 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 venteo 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 venteo 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 venteo 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 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 dos 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 los 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 al ser expuesto 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 atravesando 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:

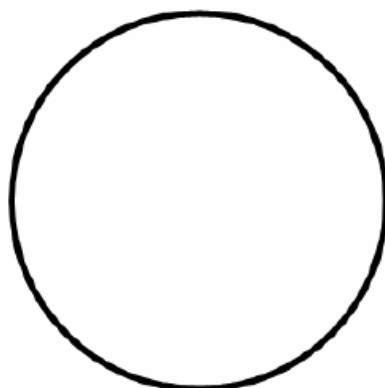
k = relación de calores específicos durante la reducción de la presión, y cuyo valor se sitúa entre 1,0 y 2,2. Si se desconoce el valor de k, se considerará que D = 0,606;

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

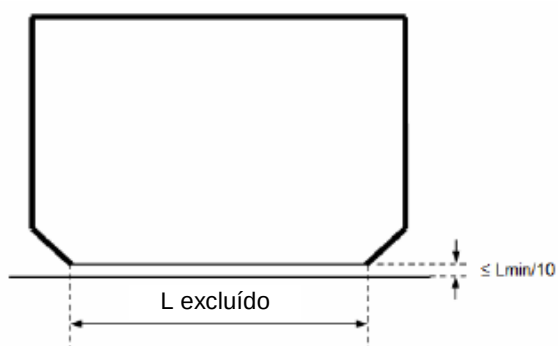
M = masa molecular del producto.

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.

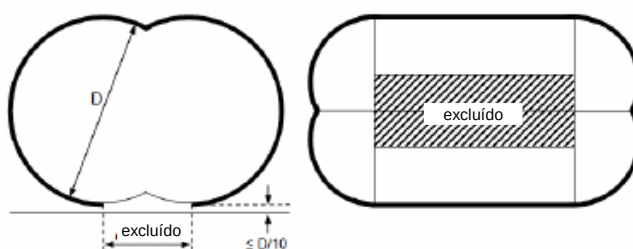
A = área de la superficie externa del tanque (m²), para distintos tipos de tanque, tal como se muestra en la figura 6.7.1.



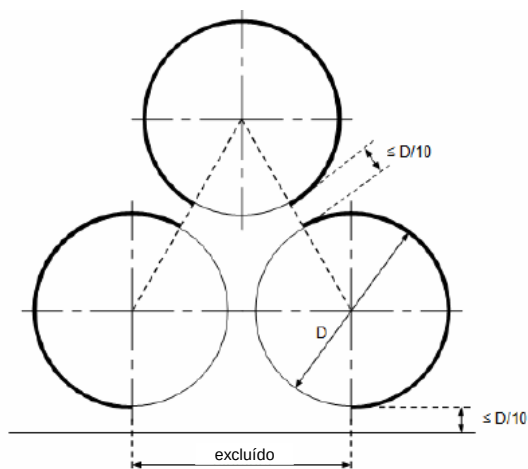
Tanques cilíndricos con cabezas cóncavas
de forma esférica, semiesférica o semi-
elipsoidal o tanques esféricos



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 (ρ_{aire}) = 1,293 kg/m³ (aire a 273,15 °K, 0,1013 MPa).

6.7.3.2 Determinación de las dimensiones del sistema de tuberías de venteo

6.7.3.2.1 Para determinar 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 venteo 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 mandadas a distancia.

6.7.3.2.3 Pérdidas de presión circuito abajo

- .1 Cuando hayan instalados colectores y mástiles de venteo 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 venteo 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 venteo acopladas a 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 %;

ρ_R = densidad relativa del combustible a la temperatura de referencia; y

ρ_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 debido a un incendio externo sea insignificante, se podrán tomar medidas especiales y permitir un límite de llenado superior al calculado utilizando la temperatura de referencia, pero que no supere nunca el 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 equipos que consumen 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 deberán mantener en todo momento dentro de sus límites de proyecto utilizando medios aceptables a juicio de la Administración, por ejemplo, aplicando alguno de los siguientes métodos:

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

El método escogido deberá permitir mantener 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 ventear 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, las temperaturas ambiente superiores de proyecto serán 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 le permita controlar la presión en las condiciones de proyecto sin necesidad de ventear.

6.9.3 Sistemas de relícuefacción

6.9.3.1 El sistema de relícuefacción 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 relícuefacción estará dispuesto en 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 comprimirlo;

- .3 un sistema combinado, en el que el combustible evaporado se comprima y condense en un termointercambiador de combustible/refrigerante y se devuelva a los tanques de combustible; o
- .4 si durante las operaciones de control de presión en condiciones de proyecto el sistema de relicuefacción produce un flujo residual que contenga metano, estos gases residuales se eliminarán sin ventearlos, en la medida en que 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 equipos alimentados con combustibles descritos en este código, o en una unidad de combustión de gas dedicada a la oxidación térmica. 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 el consumo para la propulsión u otros servicios del buque.

6.9.5 Compatibilidad

6.9.5.1 Los refrigerantes o los agentes 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 termointercambiadores 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 termointercambiador 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 que se pueda llenar de manera segura con combustible cuando esté desgasificado. 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 se forme una mezcla inflamable en cualquier fase de la operación de cambio de atmósfera mediante el uso de 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 de una fuente externa al buque.

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 sistemas de contención de combustible de gas licuado que requieran barreras secundarias totales o parciales se inertizarán con un gas inerte seco 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 De otra manera, 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 al mayor de dichos espacios, y a condición de que la configuración de los espacios y los correspondientes sistemas detectores de vapores, juntamente 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 reflujo 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 venteo intercalada entre ambas (válvulas de doble bloqueo y purga). Además, se instalará una válvula de retención cerrable entre el conjunto de válvulas 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 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 activarse cuando la proporción de oxígeno represente un máximo del 5 % 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 posibles.

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 aplicarán los siguientes puntos:

7.2.1.1 Las tuberías de combustible serán capaces de absorber la expansión o contracción térmica causada 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 la estructura de los tanques y el 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 a una norma aceptable a juicio de la Organización.¹³

7.3.1.2 Cuando los tanques o las tuberías estén separados de la estructura del buque por aislamiento térmico, se dispondrán medios para conectar las tuberías y los tanques a masa, a 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 alimentación 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 de doble pared. 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

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

¹³ Véase la norma EN ISO 14726:2008 (*Ships and marine technology – Identification colours for the content of piping systems*).

siendo:

- P = presión de proyecto (MPa) citada en 7.3.3;
- D = diámetro exterior (mm);
- K = esfuerzo admisible (N/mm²) citado en 7.3.4; y
- e = coeficiente de eficacia, igual a 1,0 para los tubos sin costura y los tubos soldados longitudinalmente o en espiral, producidos 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 interna, no exceda del esfuerzo admisible. Cuando no se dé esta justificación, el valor de b será:
- $b = Dt_0/2,5r$ (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:^{14,15}

- .1 en los sistemas o sus 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

¹⁴ La Administración podrá aceptar valores inferiores de temperatura ambiente con respecto a la condición de proyecto que se indica en 7.3.3.1.1 para buques que naveguen en zonas restringidas. Y al contrario, se podrán prescribir valores más elevados de temperatura ambiente.

¹⁵ Por lo que se refiere a los buques que realizan travesías cortas, el cálculo de P_0 podrá realizarse en función del aumento de la presión real durante el viaje y se podrá tener en cuenta todo aislamiento térmico del tanque. Véase *Application of Amendments to Gas Carrier Codes Concerning Type C Tank Loading Limits* (SIGTTO/IACS).

- .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/mm²); y

R_e = límite de elasticidad mínimo especificado a la temperatura ambiente (N/mm²). Si la curva de esfuerzos-deformaciones no muestra un límite de elasticidad definido, se aplicará un límite del 0,2 %.

7.3.4.2 Cuando sea necesario aumentar la resistencia mecánica para evitar averías, aplastamientos, arqueaduras y el pandeo excesivo de los tubos como consecuencia de cargas superpuestas, se aumentará el espesor de la pared más de lo estipulado en 7.3.2 o, si esto no es factible o pudiera generar esfuerzos locales excesivos, se adoptarán otros métodos de proyecto para eliminar o reducir estas cargas o para proteger a los tubos. Dichas cargas superpuestas pueden deberse a los soportes, las flexiones del buque, los golpes de ariete del líquido durante las operaciones de trasvase, el peso de las válvulas suspendidas, la reacción a las conexiones de los brazos de carga o a 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 las variaciones del quebranto y el arrufo del buque.

7.3.4.5 Cuando la temperatura de proyecto sea igual o inferior a -110°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 la variación del quebranto y arrufo del buque.

7.3.5 Flexibilidad de las tuberías

7.3.5.1 La disposición y la instalación de las tuberías de gas 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 Construcción de los conjuntos de 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 las juntas de dilatación y los fuelles de las tuberías de vapor se podrá aceptar una presión de proyecto mínima inferior a la que se indica en 7.3.3.1.

7.3.6.2 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 construcción de los conjuntos de tuberías y los detalles de sus uniones cumplirán las siguientes prescripciones:

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°C , las soldaduras a tope serán dobles o equivalentes a una junta a tope con doble soldadura. Esto podrá lograrse con un anillo cubrejuntas, una inserción de aportación o con gas inerte de respaldo en la primera pasada. Para presiones de proyecto superiores a 1,0 MPa y temperaturas de proyecto iguales o inferiores a -10°C habrá que retirar los anillos cubrejuntas.
- .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 aplicará la siguiente restricción:
 - .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 aplicarán las siguientes prescripciones:

- .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 casos 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) ^{1, 2} , SECCIONES Y PIEZAS FORJADAS DE TANQUES DE COMBUSTIBLE Y RECIPIENTES DE ELABORACIÓN A PRESIÓN PARA TEMPERATURAS DE PROYECTO NO INFERIORES A 0 °C		
COMPOSICIÓN QUÍMICA Y TERMOTRATAMIENTO		
◆ Acero al carbonomanganeso		
◆ Acero de grano fino, totalmente desoxidado		
◆ Pequeñas adiciones de elementos de aleación con el acuerdo de la Administración		
◆ Los límites de composición deben ser aprobados por la Administración		
◆ Normalizado, o revenido y templado ⁴		
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 de elasticidad mínimo especificado no excederá de 410 N/mm ^{2 5}	
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 ³	-20
Notas:		
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 de elasticidad mínimo especificado que exceda de 410 N/mm ² . 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 ¹ 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 ²				
COMPOSICIÓN QUÍMICA Y TERMOTRATAMIENTO				
◆ Acero al carbonomanganeso				
◆ Acero de grano fino tratado con aluminio, totalmente desoxidado				
◆ Composición química (análisis en la cuchara)				
C	Mn	Si	S	P
0,16 %máx. ³	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.
Contenido total de aluminio 0,02 % mín. (soluble en ácido 0,015 % mín.)				
◆ Normalizado, o revenido y templado ⁴				
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 de elasticidad mínimo especificado no excederá de 410 N/mm ² ⁵		
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 o -20 °C, si ésta es inferior		
Notas:				
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 la prueba de 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 provecto 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 de elasticidad mínimo especificado que exceda de 410 N/mm². Respecto de tales materiales, se debería prestar especial atención a la dureza de los puntos soldados y afectados térmicamente.

Orientaciones:

Para los materiales que exceden de 25 mm de espesor 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

PLANCHAS, SECCIONES Y PIEZAS FORJADAS ¹ 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 ² Espesor máximo 25 mm ^{3, 4}										
Temperatura de proyecto mínima (°C)	Composición química ⁵ y termotratamiento	Temperatura de la prueba al choque (°C)								
-60	acero al 1,5 % de níquel– normalizado o normalizado y templado o revenido y templado o sometido a procedimiento termomecánico controlado (TMCP) ^{véase la nota 6}	-65								
-65	acero al 2,25 % de níquel – normalizado o normalizado y templado o revenido y templado o TMCP ^{6, 7}	-70								
-90	acero al 3,5 % de níquel – normalizado o normalizado y templado o revenido y templado o TMCP ^{6, 7}	-95								
-105	acero al 5 % de níquel – normalizado o normalizado y templado o revenido y templado ^{6, 7 y 8}	-110								
-165	acero al 9 % de níquel – normalizado dos veces y templado o revenido y templado ⁶	-196								
-165	Aceros austeníticos, como los de tipo 304, 304L, 316, 316L, 321 y 347, tratados con solución ⁹	-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									
Notas:										
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><tr><th>Espesor del material (mm)</th><th>Temperatura de prueba (°C)</th></tr><tr><td>25 < t ≤ 30</td><td>10 °C por debajo de la temperatura de proyecto</td></tr><tr><td>30 < t ≤ 35</td><td>15 °C por debajo de la temperatura de proyecto</td></tr><tr><td>35 < t ≤ 40</td><td>20 °C por debajo de la temperatura de proyecto</td></tr></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 inoxidables 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 acordar con la Administración una temperatura de proyecto mínima inferior respecto de los aceros revenidos y templados.
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

TUBOS (SIN COSTURA Y SOLDADOS)¹, PIEZAS FORJADAS² Y DE FUNDICIÓN² PARA TUBERÍAS DE COMBUSTIBLE Y DE PROCESOS DE ELABORACIÓN PARA TEMPERATURAS DE PROYECTO POR DEBAJO DE 0 °C Y HASTA -165 °C³ Espesor máximo 25 mm			
Temperatura de proyecto mínima (°C)	Composición química ⁵ y termotratamiento	Prueba al choque	
		Temperatura de prueba (°C)	Energía media mínima (KV)
-55	Acero al carbonomanganeso. Grano fino, totalmente desoxidado. Normalizado o según lo acordado ⁶	véase la nota 4	27
-65	Acero al 2,25 % de níquel. Normalizado, normalizado y templado o revenido y templado ⁶	-70	34
-90	Acero al 3,5 % de níquel. Normalizado, normalizado y templado o revenido y templado ⁶	-95	34
-165	Acero al 9 % de níquel ⁷ . Normalizado dos veces y templado o revenido y templado	-196	41
	Aceros austeníticos, como los de tipo 304, 304L, 316, 316L, 321 y 347, tratados con solución ⁸	-196	41
	Aleaciones de aluminio, como las del tipo 5083 recocido		No es necesaria
REGLAS RELATIVAS A LAS PRUEBAS (AL CHOQUE) DE TRACCIÓN Y RESISTENCIA			
Frecuencia de muestreo			
◆ Se someterá a prueba cada "lote"			
Resistencia (prueba con entalla Charpy en V)			
◆ Prueba al choque: piezas de prueba longitudinales			
Notas:			
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 revenidos y templados.		
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 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.							
Notas:								
"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 que tengan tubos interiores 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 ni 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 podrían 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 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, de 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, próximo al 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 las consecuencias de no efectuar una desgasificación y se determine que no acarrea problemas.

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 lapso predeterminado, calculado de conformidad con lo dispuesto en 16.7.3.7, desde el momento entre que se dispara la alarma y el cierre completo a distancia de la válvula, si no se demuestra que es necesario asignarle un valor más alto debido a consideraciones relacionadas con las sobrepresiones.

9 ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE A LOS EQUIPOS QUE LO CONSUMEN

9.1 Objetivo

Este capítulo tiene por objetivo garantizar una alimentación de combustible confiable y sin riesgos a los equipos que lo consumen.

9.2 Prescripciones funcionales

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

- .1 el sistema de alimentación de combustible estará dispuesto de modo que permita reducir al mínimo las consecuencias de cualquier escape 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 equipos que lo consumen estará proyectado de modo que un fallo en una barrera no pueda dar lugar a una fuga desde el sistema de tuberías hacia la zona circundante, poniendo así 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 la sala de máquinas se instalarán y protegerán de modo tal que se reduzca a un mínimo el riesgo de lesiones al personal y daños al buque en caso de fugas.

9.3 Reglas aplicables a la duplicación de la alimentación de combustible

9.3.1 En el caso de instalaciones monocombustible, el sistema de alimentación de combustible estará dotado de duplicación y separación completas desde los tanques de combustible hasta el equipo que lo consuma, 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 (gas solamente), 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 para uno de ellos se instalan dos espacios de conexiones completamente separados.

9.4 Reglas aplicables a las funciones de seguridad de los sistemas de alimentación 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 normal¹⁶ y que no estén 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 Las tuberías principales de alimentación de gas a cada equipo de gas o conjunto de equipos de gas tendrán una válvula de cierre de accionamiento manual y una "válvula maestra de combustible de gas", de accionamiento automático acopladas en serie, o bien 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 aloja equipos de gas, lo más cerca posible de la instalación de calefacción del gas, si la hay. La válvula maestra de combustible de gas cortará de manera automática la alimentación 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 equipos 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 equipos 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 un tubo que ventee 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 el venteo.

¹⁶ En este contexto, el "funcionamiento normal" tiene lugar cuando se está suministrando gas a los equipos y durante las operaciones de toma de combustible.

9.4.5 Las dos válvulas de cierre serán del tipo que se cierra en caso de fallo, en tanto que la válvula de purga 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 venteará automáticamente todo el ramal de alimentación de gas que sigue a las válvulas de doble bloqueo y purga, suponiendo que el flujo se invierta, del motor al tubo.

9.4.8 Se instalará una válvula de cierre de accionamiento manual en la tubería de alimentación de gas que va a cada motor intercalada 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 tubo principal de alimentación de gas que entre en un espacio de máquinas protegido por desactivación en caso de emergencia y por cada tubo de alimentación de gas a instalaciones de alta presión se proporcionarán medios para la detección rápida de roturas en el tubo de gas en la sala de máquinas. Al detectarse una rotura se cerrará automáticamente una válvula.¹⁷ Esta válvula estará situada en el tubo de alimentación de gas, antes de que éste entre 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 Los tubos de combustible que pasan por espacios cerrados del buque estarán protegidos por una segunda envuelta, que puede ser un conducto ventilado o un sistema de tuberías de doble pared. El conducto o el sistema de tuberías de doble pared estará ventilado mecánicamente a subpresión con 30 renovaciones de aire por hora, y estará provisto 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 ventilación de combustible gas completamente soldadas que atraviesen espacios con ventilación mecánica.

9.6 Reglas aplicables a la alimentación de combustible a equipos 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 un tubo o conducto de doble pared que cumpla una de las siguientes condiciones:

¹⁷ El cierre será de acción retardada a fin de evitar el accionamiento debido a variaciones transitorias de la carga.

- .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 situado entre los tubos. 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 conducto ventilado. El espacio de aire que queda entre la tubería de combustible de gas y la pared de la tubería o conducto externo 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 el sistema se dispone de modo tal que el conducto se llene automáticamente de 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 y debería ir 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 conductos de gas a las válvulas de inyección de gas estará completamente cubierta por el conducto. La instalación será tal que permitirá sustituir y/o reparar 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 el punto en el que se inyecta el gas en las cámaras de combustión.¹⁸

9.7 Reglas aplicables a la alimentación de combustible de gas a los equipos en espacios de máquinas protegidos por desactivación en caso de emergencia

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

9.7.2 Los tubos de alimentación 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 los tubos exteriores contra fugas de gas del tubo interior

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 gas. Otra posibilidad sería, en el caso de los sistemas de tuberías de combustible con una presión de servicio superior a 1,0 MPa, que la presión de proyecto del conducto o tubería exterior no sea 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.

¹⁸ Si se suministra gas en la admisión de aire directamente a cada cilindro por separado durante la admisión de aire al cilindro en un motor de baja presión, de manera que un fallo aislado no lleve a la liberación de combustible gas en el espacio de máquinas, podrá prescindirse de las tuberías dobles en el tubo de admisión de aire.

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 CH_4 .

El esfuerzo tangencial de la membrana 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 deberán otorgar 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 el tubo. 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, el orificio pasante del mamparo deberá ser estanco 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 se podrán someter a pruebas debidamente para verificar su idoneidad para el uso en el medio marino. Entre los aspectos que se deben considerar figuran los siguientes:

- .1 el medio ambiente;
- .2 las vibraciones y aceleraciones del buque;

- .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 el funcionamiento eficaz y fiable.

10 GENERACIÓN DE POTENCIA, INCLUIDA LA PROPULSIÓN Y OTROS EQUIPOS DE GAS

10.1 Objetivo

10.1.1 El objetivo de este capítulo es asegurarse de que la energía mecánica, eléctrica o térmica se supla de manera segura y fiable.

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 de manera que eviten acumulaciones de combustible gaseoso incombusto;
- .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. Dependiendo del proyecto de motor de que se trate, tales sistemas podrán incluir colectores de admisión de aire y espacios de barrido;
- .3 el venteo de explosión se conducirá lejos de los sitios en que normalmente hay personal; y
- .4 todos los equipos 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 venteo 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 de gas incombusto 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, lo cual se tendrá en cuenta para 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 venteo 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 del tubo de escape del motor para extraer el gas a fin de evitar que se disperse. El gas extraído de los agentes del sistema auxiliar se venteará al aire libre en un lugar seguro.

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 la alimentación 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 alimentación 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 asegurarse de que se purga del sistema de escape todo rastro de mezcla de combustible incombusto.

10.3.2 Reglas aplicables a los motores bicombustible

10.3.2.1 En caso de que se interrumpa la alimentación 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 del sistema. 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, la alimentación 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 la alimentación de gas a cada cilindro o a todo el motor.

10.3.3 Reglas aplicables a los motores de gas monocombustible

Si se produce una parada normal o una desactivación de emergencia, la alimentación 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 la alimentación 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 de la alimentación 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 del sistema. Si el motor funciona de manera inestable cuando esté quemando un determinado combustible, pasará automáticamente a la modalidad de funcionamiento con otro combustible. Siempre será posible cambiar de modalidad de funcionamiento mediante activación manual.

	GAS SOLAMENTE		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 Normas 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 estable, a menos que el equipo de la caldera y de combustión hayan sido proyectados y aprobados por la Administración para poder 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 la tubería de alimentación 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 la caldera antes de volver a encenderla.

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 deberán dar 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 la tubería de alimentación 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 fueloil, 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 incombusto en el sistema de escape con la turbina en funcionamiento. En caso de que se detecte dicha circunstancia, se cerrará la alimentación de combustible de gas.

10.5.7 Las turbinas estarán provista 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, termointercambiadores, 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 graneles. 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 un mínimo de 900 mm con aislamiento de clase A-60. Al determinar el aislamiento que tiene el espacio en que se encuentra el sistema de contención de otros espacios con un riesgo de incendio menor, el sistema de contención de combustible se considerará espacio de máquinas de categoría A, de conformidad con la regla II-2/9 del Convenio SOLAS. El límite entre espacios en que se encuentren sistemas de contención de combustible consistirá en un coferdán de un mínimo de 900 mm 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 los tubos de combustible tendidos en espacios de carga rodada serán objeto de atención especial por la Administración, dependiendo del uso y presión de los tubos.

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 perdidos, los espacios de maquinaria auxiliar de bajo o ningún riesgo de incendio, 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, este 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 sea suficiente 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 servirá para proteger 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 estipuladas anteriormente con un régimen de aplicación de 10 l/min/m² para las superficies de proyección horizontal más grandes y de 4 l/min/m² 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 que puedan resultar averiadas. En su defecto, el sistema podrá dividirse en dos secciones o más que podrán utilizarse por separado, a condición de que se instalen juntos los mandos necesarios en un emplazamiento de fácil acceso que no tenga probabilidad de quedar inaccesible 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 no tenga probabilidad de quedar inaccesible 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 en un lugar seguro del cual sea fácil sacarlo manualmente fuera de la zona protegida.

11.6.2 Además de otros extintores portátiles que puedan prescribir 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

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 garantizar 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.¹⁹ 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, basándose en una norma reconocida.²⁰

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 los emplazamientos 1 de las zonas potencialmente peligrosas; 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 los emplazamientos 1

¹⁹ Véase la norma IEC 60092-502, parte 4.4, (*Tankers carrying flammable liquefied gases*) según proceda.

²⁰ Véase la norma IEC 60092 502:1999, (*Electrical Installations in Ships – Tankers – Special Features*) y la norma IEC 60079-10-1:2008 (*Explosive atmospheres – Part 10-1: Classification of areas – Explosive gas atmospheres*), siguiendo la clasificación de emplazamientos de zonas.

se deberán desconectar automáticamente cuando se detecten concentraciones de gas superiores al 40 % del límite inferior de explosividad en dos detectores de los espacios que contengan equipos de 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 poder seleccionar los aparatos eléctricos capaces de funcionar en condiciones de seguridad en estas zonas.

12.4.2 A fin de facilitar la selección de los aparatos eléctricos adecuados y el proyecto de instalaciones eléctricas adecuadas, las zonas potencialmente peligrosas se dividen en emplazamientos 0, 1 y 2.²¹ 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 Emplazamientos 0 de zonas potencialmente peligrosas:

Estos emplazamientos incluyen, entre otros lugares, el interior de los tanques de combustible y todas las tuberías de alivio de presión u otros sistemas de venteo de los tanques de combustible y de las tuberías y equipo que contengan combustible.

12.5.2 Emplazamientos 1²² de zonas potencialmente peligrosas:

Estos emplazamientos incluyen, entre otros lugares:

- .1 los espacios de las conexiones de los tanques, los espacios de bodega de almacenamiento de combustible²³ 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 combustible o vapor,²⁴ 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 ocasionados por la variación térmica;

²¹ Véase la norma IEC 60079-10-1:2008 (*Explosive atmospheres – Part 10-1: Classification of areas – Explosive gas atmospheres*) y la orientación y ejemplos informativos que figuran en la norma IEC 60092-502:1999 (*Electrical Installations in Ships – Tankers – Special Features*).

²² Los instrumentos y los aparatos eléctricos instalados en estas zonas deberán ser de un tipo adecuado para los emplazamientos 1.

²³ Los espacios de bodega de almacenamiento de combustible para tanques de tipo C normalmente no se consideran emplazamientos 1.

²⁴ Dichas zonas son, por ejemplo, todas las zonas situadas a menos de 3 m de las escotillas de los tanques de combustible, las aberturas de los espacios vacíos o las tuberías de sondeo de los tanques de combustible situadas en la cubierta expuesta y las salidas de vapor y gas.

- .4 las zonas de cubiertas expuestas o los espacios semicerrados de cubierta situados a menos de 1,5 m de las entradas de cuartos de preparación del combustible, las entradas de ventilación de los cuartos de preparación del combustible y otras aberturas que den a espacios de emplazamientos 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 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 ser certificados como adecuados para emplazamientos 1 deberán disponer del equipo prescrito para funcionar tras detectarse una fuga de gas;
- .8 los espacios protegidos por esclusas neumáticas se consideran zonas no potencialmente peligrosas durante el funcionamiento normal, pero, para ser certificados como adecuados para emplazamientos 1, requerirán el equipo prescrito para funcionar tras producirse 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 Emplazamientos 2 de zonas potencialmente peligrosas²⁵

12.5.3.1 Estos emplazamientos incluyen, entre otros lugares, las zonas situadas a menos de 1,5 m en torno a espacios de emplazamientos 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 VENTILACION

13.1 Objetivo

El objetivo de este capítulo es garantizar que la ventilación sea adecuada para el funcionamiento sin riesgos de la maquinaria y 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.

²⁵ Los instrumentos y los aparatos eléctricos instalados en estas zonas deberían ser de un tipo adecuado para los emplazamientos 2.

13.3 Reglas – Generalidades

13.3.1 Todos los conductos utilizados para la ventilación de 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 los espacios ventilados ni en el sistema de ventilación de estos espacios. Los ventiladores y sus conductos, pero sólo los instalados en las zonas de los ventiladores, serán del tipo de construcción que no desprenden chispas, como se indica a continuación:
 - .1 ventilador impulsor o alojamiento de materiales no metálicos, prestando la debida atención a la eliminación de electricidad estática;
 - .2 ventilador impulsor y alojamiento de materiales no ferrosos;
 - .3 ventilador impulsor y alojamiento de acero inoxidable austenítico;
 - .4 ventilador impulsor de aleación de aluminio o magnesio y alojamiento de material ferroso (incluido el acero inoxidable austenítico) en el que se instala un anillo de espesor adecuado de materiales no ferrosos en el emplazamiento 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 impulsor y alojamiento de material ferroso (incluido el acero inoxidable austenítico) proyectada con un huelgo mínimo de 13 mm a las puntas de las palas.
- .2 La holgura radial entre el ventilador impulsor y la envuelta nunca será de menos de 0,1 mm del diámetro del eje del impulsor en el cojinete y, en todo caso, 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 a 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 que sirven a espacios cerrados potencialmente peligrosos admitirán aire de zonas que no sean potencialmente peligrosas antes de instalar dichas tomas. 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 atraviere un espacio potencialmente más peligroso, el conducto será estanco al gas y tendrá una sobrepresión en comparación con la presión de ese espacio.

13.3.6 Las salidas de aire de los espacios no potencialmente peligrosos estarán situadas fuera de zonas potencialmente peligrosas.

13.3.7 Las salidas de aire de los espacios cerrados potencialmente peligrosos estarán situadas en una zona abierta que, antes de instalar 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 planta de ventilación se basa en el volumen total de la sala. En las salas de configuración compleja, es posible que sea 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 una sobrepresión en comparación con la presión de la zona potencialmente peligrosa externa. La ventilación de esta sobrepresión se dispondrá con arreglo a lo siguiente:

- .1 Durante la puesta en servicio o en caso de pérdida de ventilación de sobrepresión, antes de activar cualquier instalación eléctrica no certificada como segura para el espacio se prescribirá que, ante la falta de presurización:
 - .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 disparará una alarma sonora y visual en un lugar con dotación permanente; y
 - .2 si no es posible restablecer inmediatamente la sobrepresión se requerirá la desactivación automática o programada de las instalaciones eléctricas de conformidad con una norma reconocida.²⁶

13.3.10 Los espacios no potencialmente peligrosos con aberturas de entrada que den a un espacio cerrado potencialmente peligroso tendrán una esclusa neumática. El espacio potencialmente peligroso se mantendrá a una subpresión en comparación con la presión del espacio no potencialmente peligroso. Se vigilará el funcionamiento de la ventilación de extracción en el espacio potencialmente peligroso y en caso de fallo:

²⁶ Véase el cuadro 5 de la norma IEC 60092-502:1999 (*Electrical Installations in Ships – Tankers – Special Features*).

- .1 se disparará una alarma sonora y visual en un lugar con dotación permanente; y
- .2 si no es posible restablecer inmediatamente la subpresión, se prescribirá 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 dispone de 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 contraincendios de cierre automático y a prueba de fallos aprobadas.

13.5 Reglas aplicables a los espacios de máquinas

13.5.1 El sistema de ventilación de los espacios de máquinas que contienen equipos de 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.²⁷

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 tubo 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.

²⁷ Véase la norma IEC 60079-10-1.

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 asegurarse de que se extrae hacia el exterior el vapor que pueda liberarse durante las operaciones de toma de combustible. 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 tubos dobles

13.8.1 Los conductos y los tubos 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 se aplica a los tubos 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 El orificio de admisión de la ventilación para la tubería o el conducto de doble pared siempre estará situado en una zona no potencialmente peligrosa alejada de fuentes de ignición. El orificio estará dotado de una guarda de tela metálica adecuada y protegido de 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 los tubos 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 La instalación eléctrica cumplirá lo estipulado en una norma que sea como mínimo equivalente a una norma aceptable a juicio de la Organización.²⁸

14.3.2 No se instalará equipo y cableado eléctrico en zonas potencialmente peligrosas, a menos que sea esencial 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.²⁹

Los equipos para las zonas potencialmente peligrosas serán evaluados y certificados o estarán listados 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 eléctrica indicados en 14.2 se analizarán y documentarán de acuerdo con una norma que sea como mínimo equivalente a una norma aceptable a juicio de la Organización.³⁰

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 Las unidades del equipo eléctrico se instalarán a bordo de modo que se garantice su conexión segura a masa al casco.

14.3.7 Se dispondrá lo necesario para advertir con una alarma de nivel bajo de líquido y desactivar automáticamente los motores en caso de darse dicha circunstancia. La desactivación automática podrá lograrse mediante la detección de baja presión de descarga de la bomba, de baja intensidad de los motores o de nivel bajo de líquido. La desactivación de los motores disparará 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 Se podrán instalar en sistemas de contención de combustible de gas licuado motores de bombas de combustible sumergidas y sus cables de alimentación. Los motores de las bombas de combustible deberán poderse aislar de su alimentación eléctrica 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, generación de potencia, operaciones de maniobra, fondeo y amarre, así como las bombas contraincendios de emergencia instalados en espacios protegidos por esclusas automáticas serán de un tipo certificado como seguro.

²⁸ Véanse las normas de la serie IEC 60092, según corresponda.

²⁹ Véase la recomendación publicada por la Comisión Electrotécnica Internacional, en especial la publicación IEC 60092-502:1999.

³⁰ Véase la norma IEC 60812.

15 SISTEMAS DE CONTROL, VIGILANCIA Y SEGURIDAD

15.1 Objetivo

El objetivo de este capítulo es garantizar la disposición óptima de los sistemas de control, vigilancia y seguridad que posibilitan 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 alimentación de gas al producirse un fallo en los sistemas enumerados en el cuadro 1 y al surgir condiciones defectuosas que puedan propagarse con demasiada rapidez para solucionarlas mediante intervención manual;
- .3 en el caso de grupos de máquinas protegidas por desactivación en caso de emergencia, al producirse una fuga de gas, el sistema de seguridad cerrará la alimentación 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 obtendrán con 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 sea necesario contar con dos o más sistemas de alimentación de gas para ajustarse a las reglas, cada sistema estará dotado de su propio conjunto de sistemas independientes de control del gas y de seguridad de 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 y poder gestionar con seguridad la totalidad del 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 los tanques independientes de almacenamiento de gas licuado. El pozo estará provisto de un indicador de nivel y de un sensor de temperatura, de forma que cuando se alcance un nivel alto en el pozo de sentina se disparará una alarma y 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 deberá disponer 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 más 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 podrán 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 se sirven de 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 funcione independientemente de los demás indicadores de nivel de líquido y que, cuando se dispare, emita 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 se cargue por completo tras la entrega y después de cada entrada a 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, incluido el circuito eléctrico y el sensor o los sensores de las alarmas de alto nivel y de sobrellenado, deberán poder ser sometidos a prueba funcionalmente. Los sistemas se someterán a prueba antes del funcionamiento con combustible, conforme a lo dispuesto en 18.4.3.
- .5 Cuando se adopten medidas para neutralizar el sistema de control de reboses, se incluirán medios para prevenir su activación involuntaria. Al neutralizarse el sistema de control, 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 manómetro de lectura directa. Además, se instalará un indicador indirecto 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 un dispositivo de alarma de altas presiones y, si se requiere protección contra el vacío, una alarma de bajas presiones. Las alarmas se dispararán antes de alcanzarse las presiones de tarado 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 al menos un manómetro.

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 al aire libre estarán provistos de manómetros.

15.4.9 Al menos uno de los manómetros 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 alimentación, se dispondrá lo necesario para advertir con una alarma de nivel bajo de líquido y para desactivar automáticamente los motores en caso de alcanzarse dicho nivel. La desactivación automática podrá lograrse mediante la detección de baja presión de descarga de la bomba, de baja intensidad de los motores o de nivel bajo de líquido. La desactivación de los motores disparará 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 aislación por vacío y de unidades de descarga de combustible, 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 vigilará la presión, la temperatura y el nivel del tanque si así se dispone en el párrafo 15.4.11, y además será posible accionar las válvulas de mando a distancia prescritas en 8.5.3 y 11.5.7. Desde aquí también se podrá comprobar la activación de la alarma de sobrellenado y el cierre automático.

15.5.2 Si deja de funcionar la ventilación en el conducto que encierra las tuberías de la toma de gas se disparará 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 disparará una alarma visual y sonora y se efectuará el cierre 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 cámara de mando de máquinas. Como mínimo, estas alarmas se activarán cuando registren presión baja de entrada de gas, presión baja de salida de gas y presión alta de salida de gas y en relación con 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 de gas monocombustible; 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 equipos alimentados con gas;
- .4 en las salas de 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 eléctricos relacionados con los sistemas de combustible; y
- .10 en las entradas de ventilación a los espacios de alojamiento y de máquinas si resulta necesario sobre la base de 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.³¹

15.8.6 Cuando se alcanza una concentración de gas/vapor del 20 % del límite inferior de explosividad se disparará una alarma sonora y visible. El sistema de seguridad se activará al alcanzarse 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 alarma podrá fijarse en el 30 % del límite inferior de explosividad. El sistema de seguridad se activará al alcanzarse el 60 % del límite en dos detectores (véase la nota a pie de página 1 del cuadro 1).

15.8.8 Se dispondrá de alarmas sonoras y visuales del equipo de detección de gas 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.

³¹ Véase la norma IEC 60079-29-1 (Atmósferas explosivas - Detectores de gas - Requisitos de funcionamiento para los detectores de gases inflamables).

15.10 Reglas aplicables a la ventilación

15.10.1 Toda disminución de la capacidad de ventilación prescrita disparará 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 pérdida de ventilación en la sala de máquinas.

15.11 Reglas aplicables a las funciones de seguridad de los sistemas de alimentación de combustible

15.11.1 Si se interrumpe la alimentación de combustible debido a la activación de una válvula automática, la alimentación no volverá a abrirse hasta que se haya establecido la causa del cierre y se hayan adoptado las precauciones necesarias. A este efecto se fijarán instrucciones para las válvulas de cierre de las tuberías de alimentación de gas en un lugar bien visible del puesto de operaciones.

15.11.2 Si se produce una fuga de combustible que dé lugar a la interrupción de la alimentación de combustible, la alimentación no se restablecerá hasta que se haya encontrado la fuga y efectuado la reparación necesaria. A este efecto se fijarán instrucciones 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 quemando 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 la alimentación 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 alimentación de gas a los motores

Parámetro	Alarma	Cierre automático de la válvula del tanque⁶⁾	Cierre automático de la alimentación 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 ⁴⁾ 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 pozo de sentina en el espacio de las conexiones de los tanques	X			
Baja temperatura en pozo de sentina en el espacio de las conexiones de los tanques	X	X		
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 ⁴⁾ del conducto entre el tanque y el espacio de máquinas que contiene motores de gas al 40 % del límite inferior de explosividad	X	X ²⁾		
Detección de gas en el cuarto de preparación del combustible al 20 % del límite inferior de explosividad	X			

Parámetro	Alarma	Cierre automático de la válvula del tanque⁶⁾	Cierre automático de la alimentación de gas a los espacios de máquinas que contengan motores de gas	Observaciones
Detección de gas en dos detectores ¹⁾ en el cuarto de preparación del combustible al 40 % del límite inferior de explosividad	X	X ²⁾		
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 ¹⁾ del conducto dentro del espacio de máquinas que contiene motores de gas al 60 % del límite inferior de explosividad	X		X ³⁾	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 ¹⁾ 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 deberá desconectar 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 ²⁾	

Parámetro	Alarma	Cierre automático de la válvula del tanque ⁶⁾	Cierre automático de la alimentación 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 ⁵⁾	X		X ³⁾	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 alimentación de gas	X			
Fallo del medio accionador del mando de las válvulas	X		X ⁴⁾	De acción retardada, según sea necesario
Parada automática del motor (fallo del motor)	X		X ⁴⁾	
Parada de emergencia del motor de activación manual	X		X	
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. 2) Si el tanque suministra gas a más de un motor y las distintas tuberías de alimentación 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 alimentación del conducto en el que se detecta el gas o la interrupción de la ventilación. 3) Si el gas se suministra a más de un motor y las distintas tuberías de alimentación 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 alimentación del conducto en el que se detecta el gas o la interrupción de la ventilación. 4) Se cerrarán solamente las válvulas de doble bloqueo y purga. 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. 6) Las válvulas mencionadas en 9.4.1				

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 según el cual cada elemento estructural se evalúa con respecto a posibles modalidades de fallo en las condiciones de proyecto señaladas en 6.4.1.6. El estado límite puede definirse como una situación más allá del cual la estructura, o una parte de una estructura, deja de cumplir las prescripciones.

1.3 Los estados límite se dividen en las tres categorías siguientes:

- .1 estados límite de rotura (ULS), que corresponden a la capacidad máxima de transporte de carga o, en algunos casos, a la deformación o inestabilidad máximas aplicables en la estructura consecuencia del pandeo y el hundimiento plástico, en condiciones sin avería;
- .2 estados límite de fatiga (FLS), que corresponden a la degradación debida al efecto de la carga cíclica; y
- .3 estados límite accidentales (ALS), 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 marco hipotético:

$$L_d \leq R_d$$

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:

γ_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 de elasticidad mínimo especificado, la resistencia mínima especificada a la tracción, la resistencia plástica de las secciones transversales y la resistencia máxima al pandeo;

γ_R es el factor de resistencia, definido como $\gamma_R = \gamma_m \cdot \gamma_s$;

γ_m es el factor de resistencia parcial para tener en cuenta la distribución probabilística de las propiedades del material (factor del material);

γ_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

γ_C es el factor de consecuencia, que refleja los posibles resultados de un fallo en relación con la liberación de combustible y las posibles lesiones a personas.

2.2 El proyecto del sistema de contención de combustible tendrá 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 accidental.

Cuadro 1: Tipos de consecuencias

Tipo de consecuencia	Definición
Baja	El fallo entraña una liberación de un volumen reducido de combustible
Media	El fallo entraña una liberación de combustible y un riesgo de lesiones a personas
Alta	El fallo entraña una liberación de un volumen 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 mediante un modelo integrado del tanque y el casco del buque, incluidos los soportes y el sistema de manipulación, 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 rectilineidad, 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 precisar 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 liberación considerable de combustible, el factor de consecuencia que se establecerá será $\gamma_c = 1,2$. Dicho valor podrá reducirse si se justifica mediante un análisis de riesgos y estará sujeto a 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 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 6.4.2.6. Esta medida puede llevarse a cabo calibrando los factores con respecto a proyectos satisfactorios conocidos.

4.6 El factor del material γ_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 γ_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 parciales (γ_{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 parciales (γ_{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 parciales 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:

σ_m = esfuerzo primario equivalente de la membrana general

σ_L = esfuerzo primario equivalente de la membrana local

σ_b = esfuerzo flector primario equivalente

σ_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 (σ_x , σ_y , τ_{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, refuerzos 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 equivalente de la membrana en la sección y del esfuerzo equivalente de la membrana 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:

σ_{ms} = esfuerzo equivalente de la membrana en la sección en la estructura primaria

σ_{bp} = esfuerzo equivalente de la membrana en la estructura primaria y esfuerzo en las estructuras secundaria y terciaria ocasionados por la flexión de la estructura primaria

σ_{bs} = esfuerzo flector en la sección en la estructura secundaria y esfuerzo en la estructura terciaria ocasionados por la flexión de la estructura secundaria

σ_{bt} = esfuerzo flector en la sección en la estructura terciaria

σ_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 σ_{ms} , σ_{bp} , σ_{bs} y σ_{bt} aparecen definidos en la sección 4.8.4.

Nota orientativa:

La suma de esfuerzos descrita anteriormente se realizará sumando cada componente del esfuerzo (σ_x , σ_y , τ_{xy}), y el esfuerzo equivalente se calculará posteriormente a partir de las componentes del esfuerzo resultantes.

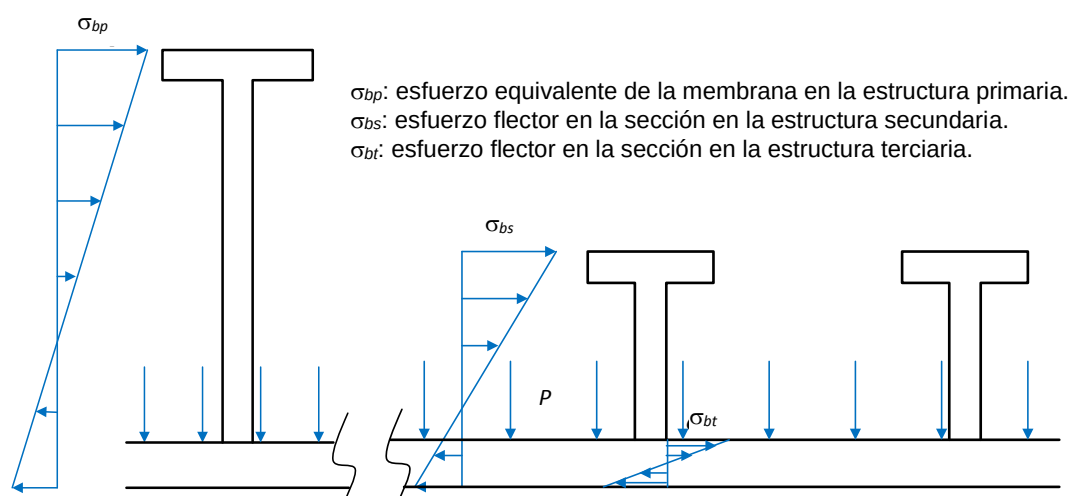
Las planchas del forro se proyectarán de conformidad con las prescripciones de la Administración. Cuando el esfuerzo de la membrana sea considerable, también se tendrá debidamente en cuenta el efecto de ese esfuerzo en la capacidad de flexión de la plancha.

4.8.4 Categorías de esfuerzos en la sección

El esfuerzo normal es la componente del esfuerzo perpendicular al plano de referencia.

El esfuerzo equivalente de la membrana en la sección 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 la membrana en la sección es idéntico al esfuerzo de la 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 σ_{bp} y σ_{bs} son perpendiculares a la sección transversal que se muestra en la figura)**

4.9 Se utilizarán los mismos factores γ_C , γ_m , γ_{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 de 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 será igual a 1,0 para todas las categorías de carga.

5.3 Los factores de consecuencia (γ_C) y de resistencia (γ_R) serán 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 ACCIDENTALES

6.1 Se observará, según proceda, la condición de proyecto en caso de 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 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 marcos hipotéticos de accidente.

6.3 Se considerará que los factores de carga para el estado límite accidental 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 γ_R equivale a 1,0.

6.6 Normalmente, se considerará que el factor de consecuencia, γ_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 marco hipotético 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 marco hipotético de accidente.

6.8 Se establecerán otros marcos hipotéticos 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 en que se encuentre después de haber sido 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 la prueba 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 de elasticidad 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 valores de energía media mínima para tres muestras de tamaño completo (10 mm x 10 mm) y valores mínimos de energía individuales 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) con entalla Charpy en V	Energía media mínima 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 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.

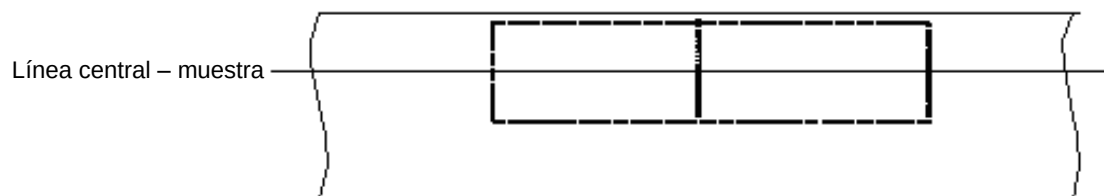
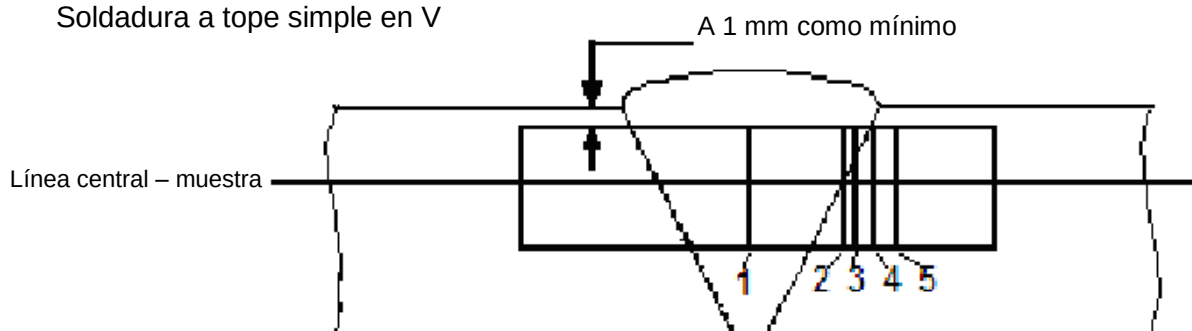


Figura 16.1: Orientación de la muestra de prueba del material de base

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 estarán maquinadas 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 muestra en la figura 16.2, en el eje de las soldaduras, la línea de fusión y a 1 mm, 3 mm y 5 mm de la línea de fusión.

Soldadura a tope simple en V



Soldadura a tope doble en V

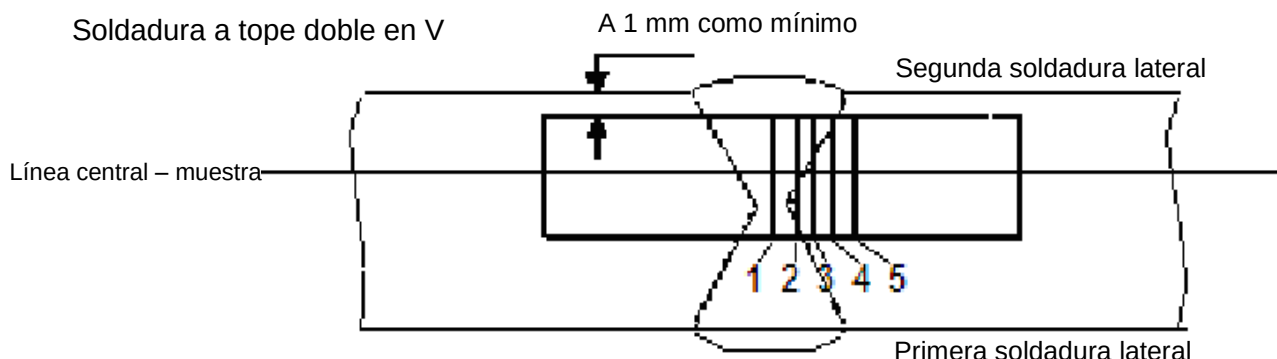


Figura 16.2: Orientación de la muestra de prueba de la soldadura

Ubicaciones de las ranuras en la figura 16.2:

- .1 en el eje 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 combinarse los resultados con los obtenidos previamente para formar un nuevo promedio. Si este nuevo promedio se ajusta a las reglas y si sólo uno o 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 depositado 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 será aplicable solamente a las barreras primarias y secundarias, incluido el casco interior en donde éste forme la barrera secundaria. Se especifican pruebas de aceptación para los aceros al carbono, al carbonomanganeso, de aleación de níquel e inoxidable, aunque estas pruebas se podrán adaptar para otros materiales. Las pruebas al choque del acero inoxidable y de las soldaduras de aleación de aluminio podrán omitirse a juicio de la Administración, 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 en la soldadura 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 de la soldadura.

16.3.3 Pruebas de procedimientos de soldaduras para tanques de combustible y recipientes de elaboración a presión

16.3.3.1 Es necesario realizar pruebas de procedimientos de todas las soldaduras a tope de los tanques de combustible y los recipientes de elaboración a presión.

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 soldaduras se ajustará a lo establecido en normas reconocidas. Por otra parte, se podrán realizar pruebas radiográficas o por ultrasonidos a elección del fabricante.

16.3.3.4 Las siguientes pruebas de procedimientos de soldaduras 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 transversales de soldadura;
- .2 pruebas de soldadura total longitudinal sí así lo prescriben las normas reconocidas;
- .3 pruebas de plegado transversales, que podrán ser de plegado de cara, de raíz o de lado. Sin embargo, se podrán prescribir pruebas de plegado longitudinales en lugar de pruebas de plegado transversales 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 en el caso de soldaduras de metales de distinta resistencia a la tracción (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 para fines de información;
- .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 Charpy con entalla 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 energía correspondientes a cada muestra 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, ya sean éstas de tamaño total o de 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 los 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 deberán efectuar pruebas por cada 50 m aproximadamente de juntas soldadas a tope, que sean 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 tanques independientes de tipo C y recipientes de elaboración a presión, además de las pruebas indicadas en 16.3.5.2 se llevarán a cabo pruebas de tracción transversales de las soldaduras. Las pruebas de tracción cumplirán las reglas indicadas en 16.3.3.5.

16.3.5.4 La aplicación del programa de garantía/control de la calidad permitirá asegurarse de que las soldaduras de fabricación seguirán cumpliendo las normas establecidas en el manual de calidad de los fabricantes de materiales.

16.3.5.5 Las reglas relativas a las pruebas de los tanques de membrana son las mismas que se aplican según se indica en 16.3.3.

16.3.6 Pruebas no destructivas

16.3.6.1 Todas las pruebas de procedimientos 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, las pruebas radiográficas se podrán sustituir por un procedimiento aprobado de pruebas con ultrasonidos, aunque además se realizarán pruebas radiográficas adicionales en determinados sitios a fin de verificar los resultados. Por otra parte, se conservarán registros de las pruebas radiográficas y de 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 que permitan 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 refuerzos y de otros accesorios y sujeciones, se someterá a prueba con métodos de inspección por partículas magnéticas o con tintas 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 de pruebas totales 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 por ultrasonidos:

- .3 Según lo prescriba, en cada caso, la Administración.

16.3.6.5 La aplicación del programa de garantía/control de la calidad permitirá asegurarse del cumplimiento continuo de las pruebas no destructivas de las soldaduras, según se establece en el manual de calidad de los fabricantes de 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 forma 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 tanques de tipo C y 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

La aplicación del programa de garantía/control de la calidad permitirá asegurarse de que los componentes seguirán 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 a 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, que 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, así como 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 la 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 máximo de la membrana primaria o el esfuerzo máximo de flexión en los elementos primarios en 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 asegurarse del 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 verificará 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 $1,5 P_0$. En ningún caso durante la prueba de presión el esfuerzo calculado de la membrana primaria en cualquier punto será superior al 90 % del límite de elasticidad del material a la temperatura de la prueba. A fin de asegurarse de que se cumple esta condición, cuando los cálculos indiquen que este límite será 0,75 veces superior al límite de elasticidad, la prueba del primero de una serie de tanques idénticos se verificará mediante el uso de medidores de presión u otro equipo adecuado para 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 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 mayores esfuerzos 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 en forma segura, o con aquellos recipientes que no pueden secarse y se utilizarán 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. Ello concluirá con 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 es probable que el sistema de contención de combustible de gas licuado 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 realizará un termotratamiento postsoldadura en todas las soldaduras a tope de las tuberías de aceros al carbono, de acero al carbonomanganeso y de baja aleación. La Administración podrá eximir de la aplicación de las reglas relativas al alivio del esfuerzo térmico a los tubos cuyas paredes tengan un espesor inferior a 10 mm dependiendo 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 tubos de alimentación 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 de las pruebas 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 del tubo exterior de las tuberías de combustible de doble pared.
- .4 En cuanto a otras soldaduras a tope de tuberías no comprendidas 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 certificará 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 a 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 a una norma que, como mínimo, sea equivalente a las que son aceptables a juicio de la Organización.³²

³² Véanse las recomendaciones de la Organización Internacional de Normalización, en particular las siguientes publicaciones:
ISO 19921:2005, *Ships and marine technology — Fire resistance of metallic pipe components with resilient and elastomeric seals — Test methods*
ISO 19922:2005, *Ships and marine technology — Fire resistance of metallic pipe components with resilient and elastomeric seals — Requirements imposed on the test bench*

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 en el caso de los fuelles que se instalan 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 los tubos) en una junta de dilatación completa, sin presión interna, simulando para ello los movimientos de fuelle correspondientes a la longitud de un tubo compensado, 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 extremo abierto

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 de 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 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 del tubo interior de gas.

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 dentro de los 30 segundos después de haber sido accionadas. Se dispondrá a bordo de información acerca del tiempo de cierre de las válvulas y de sus características de funcionamiento; 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 completar 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 intervalos periódicos.

Dichas prácticas relacionadas con gases podrían incluir, entre otras:

- .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 asegurarse de que los procedimientos operacionales para la carga, almacenamiento, funcionamiento, mantenimiento e 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 que sean compatibles con las prácticas correspondientes a los buques tradicionales que queman combustible líquido, y de que al mismo tiempo se tenga 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 almacenamiento, trasvase y toma 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, mantenimiento y 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.³³

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, de automatización y de seguridad

18.4.2.1 El manual para la manipulación de combustible prescrito en 18.2.3 incluirá, entre otras cosas:

³³ Véase la norma IEC 60079 17:2007 (*Explosive atmospheres – Part 17: Electrical installations inspection and maintenance*).

- .1 el funcionamiento general del buque entre dos ciclos de entrada 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 empleo y 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 la presencia de fugas, llamas o la posible estratificación del combustible que resulte 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 se colocará permanentemente un diagrama esquemático del sistema de combustible/de las 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 información documentada de la verificación satisfactoria se hará constar en la lista de comprobaciones de seguridad de la toma de combustible mutuamente acordada y ejecutada, 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 suministrado para las comunicaciones automáticas si ocurriera una 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.³⁴

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 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.³⁵

18.4.6 Condiciones para el trasvase

18.4.6.1 En los puntos de acceso a la zona de toma de combustible se fijarán letreros de advertencia en 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 estará presente 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 cisternas portátiles, el procedimiento proporcionará un nivel de seguridad equivalente al de los tanques de combustible y sistemas integrados. Las cisternas se llenarán antes de cargarlas a bordo del buque y se sujetarán adecuadamente antes de conectarlas al sistema de combustible.

³⁴ Véase la norma ISO 28460 (*Ship-shore interface and port operations*).

³⁵ Véase la práctica recomendada API 2003, ISGOTT: *Guía internacional de seguridad para petroleros y terminales petroleras*.

18.4.6.4 En el caso de los tanques que no sean de instalación permanente 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 alimentación de combustible del buque es parte del proceso de "toma de combustible" y quedará terminada antes de que el buque salga de la fuente de la toma de combustible. No está permitido conectar ni desconectar las cisternas 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 tanques de combustible, espacios de bodega de almacenamiento de combustible, espacios perdidos, espacios de las conexiones de los tanques ni en 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.³⁶

18.5.2 El personal que ingrese en un espacio designado como zona potencialmente peligrosa no introducirá ninguna posible fuente de ignición en dicho espacio a menos que se haya certificado como desgasificado y se mantenga en esa condición.

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

18.6.1 El objetivo principal de la inertización y purga de los sistemas de combustible es evitar la formación de atmósferas combustibles en su interior, las cercanías o los alrededores de las tuberías, tanques y equipos de combustible y en los espacios adyacentes.

18.6.2 Se aplicarán procedimientos de inertización y purga de los sistemas de combustible a fin de asegurarse de que no entre aire en tuberías o tanques que contengan atmósferas gaseosas y de que no penetre gas en el aire de recintos o espacios adyacentes a esos sistemas de combustible.

18.7 Reglas aplicables a trabajos en caliente en los sistemas de contención de la carga 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.

³⁶ Véanse las "Recomendaciones revisadas relativas a la entrada en espacios cerrados a bordo de los buques" (resolución A.1050(27)).

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/m³	
Densidad	kg/m³	
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 ₄	% (kg/kg)	
Etano, C ₂ H ₆	% (kg/kg)	
Propano, C ₃ H ₈	% (kg/kg)	
Isobutano, i C ₄ H ₁₀	% (kg/kg)	
N-Butano, n C ₄ H ₁₀	% (kg/kg)	
Pentano, C ₅ H ₁₂	% (kg/kg)	
Hexano, C ₆ H ₁₄	% (kg/kg)	
Heptano, C ₇ H ₁₆	% (kg/kg)	
Nitrógeno, N ₂	% (kg/kg)	
Azufre, S	% (kg/kg)	
despreciable < 5 ppm sulfuro de hidrógeno, hidrógeno, amoníaco, cloro, flúor, agua		

* Las propiedades y la composición del GNL permiten que el operador actúe con arreglo a las propiedades del gas conocidas y cualquier limitación operacional asociada a ellas.

** Por encima de 70 preferiblemente y correspondiente al método de cálculo del número de metano utilizado de la norma DIN EN 16726. No refleja necesariamente el número de metano que entra en el motor.

3 **Total neto entregado:** _____ t, _____ MJ _____ m³

Líquido neto entregado: _____ GJ

4 **Firma(s):**

Nombre, dirección 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 asegurarse de 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 que preste servicio en 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 responsabilidad que vaya a asumir, teniendo en cuenta las disposiciones que figuran en el Convenio y el Código de formación, enmendados.
