

4 ALBERT EMBANKMENT
LONDRES SE1 7SR
Teléfono: +44(0)20 7735 7611 Facsímil: +44(0)20 7587 3210

MSC.1/Circ.1647
15 junio 2022

**DIRECTRICES PROVISIONALES PARA LA SEGURIDAD DE LOS BUQUES
QUE UTILICEN INSTALACIONES GENERADORAS DE POTENCIA
A BASE DE PILAS DE COMBUSTIBLE**

1 El Comité de seguridad marítima, en su 105º periodo de sesiones (20 a 29 de abril de 2022), habiendo examinado una propuesta del Subcomité de transporte de cargas y contenedores, en su 7º periodo de sesiones, reconociendo la importancia de proporcionar criterios para la disposición y el montaje de instalaciones generadoras de potencia a base de pilas de combustible a bordo de los buques de modo que ofrezcan, como mínimo, el mismo nivel de seguridad que las instalaciones convencionales de máquinas principales y auxiliares nuevas y comparables que consumen combustible líquido, aprobó las Directrices provisionales para la seguridad de los buques que utilicen instalaciones generadoras de potencia a base de pilas de combustible, que figuran en el anexo.

2 Se invita a los Estados Miembros a que transmitan estas Directrices provisionales a constructores de buques, fabricantes, propietarios de buques, gestores de buques, capitanes y tripulaciones, fletadores de buques sin tripulación y todas las demás partes interesadas.

3 Se invita a los Estados Miembros a que expongan a la Organización la experiencia recabada al aplicar estas Directrices provisionales a fin de que el Comité las pueda mantener sometidas a examen.

ANEXO

DIRECTRICES PROVISIONALES PARA LA SEGURIDAD DE LOS BUQUES QUE UTILICEN INSTALACIONES GENERADORAS DE POTENCIA A BASE DE PILAS DE COMBUSTIBLE

INTRODUCCIÓN

Las presentes directrices provisionales se han elaborado a fin de establecer disposiciones normativas internacionales para los buques con instalaciones generadoras de potencia a base de pilas de combustible. El objetivo de las directrices provisionales es proporcionar criterios para la disposición y montaje de instalaciones generadoras de potencia a base de pilas de combustible que tengan, como mínimo, el mismo nivel de seguridad y fiabilidad que las instalaciones convencionales de máquinas principales y auxiliares nuevas y comparables que consuman combustible líquido, independientemente del tipo específico de pila de combustible y de combustible. De acuerdo con el combustible utilizado, es posible que, además de lo estipulado en las presentes directrices provisionales, sean aplicables otras reglas (por ejemplo, la parte A del Código IGF) y disposiciones (por ejemplo, las Directrices provisionales para la seguridad de los buques que utilicen alcohol metílico/etílico como combustible). Ciertas instalaciones generadoras de potencia a base de pilas de combustible utilizan un proceso de reformado del combustible para obtener combustibles reformados para su uso en la pila de combustible. Estas directrices provisionales no tienen por objetivo tratar el almacenamiento de combustibles reformados.

1 GENERALIDADES

1.1 Aplicación

Salvo disposición expresa en otro sentido, estas directrices provisionales se aplican a todos los buques regidos por la parte G del capítulo II-1 del Convenio SOLAS.

1.2 Objetivo

El objetivo de estas directrices es garantizar el suministro seguro y fiable de energía eléctrica y/o de energía térmica utilizando tecnología de pilas de combustible.

1.3 Prescripciones funcionales

Las presentes directrices provisionales están relacionadas con los objetivos y las prescripciones funcionales del Código IGF. En particular, se aplica lo siguiente:

- .1 La seguridad y la fiabilidad de los sistemas deberían ser equivalentes a las obtenidas con las instalaciones convencionales de máquinas principales y auxiliares nuevas y comparables, independientemente del tipo específico de pila de combustible y de combustible.
- .2 La probabilidad y las consecuencias de los peligros potenciales relacionados con el combustible deberían reducirse al mínimo mediante la disposición y el proyecto de los sistemas, por ejemplo, la ventilación, la detección y las medidas de seguridad. En caso de fuga de gas o de fallo de las medidas de reducción de riesgos, deberían tomarse las medidas de seguridad necesarias.

- .3 Los criterios de proyecto deberían garantizar que las medidas de reducción de riesgos y las medidas de seguridad que se apliquen a la instalación generadora de potencia a base de pilas de combustible no se traduzcan en una pérdida inadmisibile de potencia.
- .4 Las zonas potencialmente peligrosas deberían limitarse en la medida de lo posible con el fin de reducir al mínimo los riesgos que puedan afectar a la seguridad del buque, las personas a bordo y el equipo.
- .5 El equipo instalado en zonas potencialmente peligrosas debería reducirse al mínimo requerido para fines operacionales y debería estar debidamente certificado.
- .6 Los espacios de pilas de combustible deberían estar configurados para evitar la acumulación no deseada de concentraciones de gases explosivos, inflamables o tóxicos.
- .7 Los componentes del sistema deberían protegerse de averías exteriores.
- .8 Se deberían reducir al mínimo las fuentes de ignición en las zonas potencialmente peligrosas para reducir la probabilidad de explosiones.
- .9 Se deberían proveer sistemas de tuberías y medios de alivio de la sobrepresión que sean de proyecto, construcción e instalación adecuados para la aplicación prevista para ellos.
- .10 La maquinaria, los sistemas y los componentes deberían proyectarse, construirse, instalarse, operarse, mantenerse y protegerse para garantizar un funcionamiento seguro y fiable.
- .11 Los espacios de pilas de combustible deberían disponerse y emplazarse de modo tal que un incendio o una explosión en cualquiera de ellos no comporte una pérdida inadmisibile de potencia o deje fuera de funcionamiento equipo de otros compartimientos.
- .12 Deberían proveerse sistemas de control, alarma, vigilancia y desactivación adecuados para garantizar un funcionamiento seguro y fiable.
- .13 Debería disponerse de un sistema fijo de detección de fugas adecuado para todos los espacios y zonas de que se trate.
- .14 Deberían facilitarse medidas de detección, protección y extinción de incendios adecuadas para los peligros de que se trate.
- .15 La puesta en servicio, los ensayos y el mantenimiento de los sistemas de combustible y de la maquinaria de utilización del gas deberían cumplir los objetivos en cuanto a seguridad, disponibilidad y fiabilidad.
- .16 La documentación técnica debería permitir evaluar que el sistema y sus componentes cumplen las reglas, directrices y normas de proyecto aplicables, así como los principios relativos a la seguridad, disponibilidad, mantenibilidad y fiabilidad.

- .17 Ningún fallo aislado de un sistema o componente técnico debería dar lugar a situaciones peligrosas o de desconfianza.
- .18 Se debería facilitar el acceso en condiciones de seguridad para la utilización, la inspección y el mantenimiento.

1.4 Definiciones

A efectos de las presentes directrices provisionales, las expresiones utilizadas tienen el significado que se indica en los párrafos siguientes. Las expresiones no definidas tienen el mismo significado que en el capítulo II-2 del Convenio SOLAS y el Código IGF.

- .1 **Gas de escape:** escape del reformador o del lado del ánodo de la pila de combustible.
- .2 **Aire de escape:** escape del lado del cátodo de la pila de combustible.
- .3 **Pila de combustible:** fuente de energía eléctrica en la que la energía química del combustible de la pila se convierte directamente en energía eléctrica y térmica mediante oxidación electroquímica.
- .4 **Sistema generador de potencia a base de pilas de combustible:** grupo de componentes que puede contener combustible o vapores potencialmente peligrosos, pila o pilas de combustible, reformadores de combustible, si están instalados, y sistemas de tuberías conexos.
- .5 **Instalación generadora de potencia a base de pilas de combustible:** sistema generador de potencia a base de pilas de combustible y otros componentes y sistemas necesarios para generar electricidad para el buque. También podrá incluir sistemas auxiliares para el funcionamiento de la pila de combustible.
- .6 **Espacio de pilas de combustible:** espacio o envuelta que contiene sistemas generadores de potencia a base de pilas de combustible o partes de dichos sistemas.
- .7 **Batería de pilas de combustible:** conjunto de pilas, separadores, placas de refrigeración, colectores y una estructura de apoyo que comúnmente convierte, por vía electroquímica, gas con un elevado contenido en hidrógeno y reactivos del aire en electricidad (corriente continua), calor y otros productos de la reacción.
- .8 **Reformador de combustible:** conjunto de todos los equipos de reformado de combustible conexos para la conversión de combustibles primarios gaseosos o líquidos en combustible reformado para su uso en las pilas de combustible.
- .9 **LEL:** límite inferior de explosividad que, en el marco de estas directrices provisionales, debería asumirse como idéntico al límite inferior de inflamabilidad (LFL) y que equivale a una fracción volumétrica de hidrógeno del 4,0 %.¹

¹ Los límites de inflamabilidad del hidrógeno pueden consultarse en la norma ISO/TR 15916:2015: *Basic considerations for the safety of hydrogen systems*.

- .10 **Combustible reformado:** hidrógeno o gas rico en hidrógeno generado en el reformador de combustible.
- .11 **Combustible primario:** combustible suministrado al sistema generador de potencia a base de pilas de combustible.
- .12 **Aire de proceso:** aire suministrado al reformador y/o al lado del cátodo de la pila de combustible.
- .13 **Aire de ventilación:** aire utilizado para ventilar el espacio de pilas de combustible.

1.5 Proyecto alternativo

1.5.1 Las presentes directrices provisionales contienen prescripciones funcionales aplicables a todos los dispositivos e instalaciones relacionados con el uso de tecnología de pilas de combustible.

1.5.2 Los dispositivos e instalaciones de los sistemas generadores de potencia a base de pilas de combustible pueden desviarse de las presentes directrices provisionales siempre que dichos dispositivos e instalaciones se ajusten al propósito del objetivo y de las prescripciones funcionales pertinentes y proporcionen un nivel de seguridad equivalente de las secciones correspondientes.

1.5.3 La equivalencia del proyecto alternativo se debería demostrar como se especifica en la regla II-1/55 del Convenio SOLAS y debería ser aprobada por la Administración. Sin embargo, la Administración no debería permitir la aplicación de métodos o procedimientos operacionales como alternativa de un determinado accesorio, material, dispositivo, aparato, elemento de equipo o de cierto tipo de estos que estén prescritos por las presentes directrices provisionales.

2 PRINCIPIOS DE PROYECTO PARA LAS INSTALACIONES GENERADORAS DE POTENCIA A BASE DE PILAS DE COMBUSTIBLE

2.1 Espacios de pilas de combustible

2.1.1 Concepto de espacio de pilas de combustible:

- .1 A fin de reducir al mínimo la probabilidad de que ocurra una explosión de gas en un espacio de pilas de combustible, este debería cumplir las prescripciones de esta sección o un concepto de seguridad equivalente.
- .2 El concepto de espacio de pilas de combustible es tal que el espacio está proyectado para mitigar los riesgos a niveles no potencialmente peligrosos en condiciones normales, pero que pueden ser potencialmente peligrosos en ciertas condiciones anormales.
- .3 Espacios de pilas de combustible protegidos por el equipo; clasificación de las zonas de conformidad con 4.2.2: dichos espacios de pilas de combustible se consideran emplazamiento potencialmente peligroso 1, y todo el equipo eléctrico debería certificarse para el emplazamiento 1. La batería de pilas de combustible no se considera fuente de ignición si la temperatura de la

superficie de la batería se mantiene por debajo de los 300 °C² en todas las condiciones de funcionamiento, o el sistema generador de pilas de combustible debería ser capaz de aislar y descargar inmediatamente la batería de pilas de combustible bajo cualquier carga o condición de funcionamiento (véase también el cuadro 2).

- .4 En los casos específicos en los que la Administración considere que la clasificación prescriptiva de zonas es poco adecuada, debería aplicarse la clasificación de zonas de la norma IEC 60079-10-1:2020, de conformidad con 4.2.1, teniendo en cuenta la orientación siguiente: todo el equipo eléctrico debe cumplir la clasificación de zonas resultante.
- .5 En los casos específicos en los que la Administración acepte la inertización de conformidad con 2.3.3, deberían tenerse en cuenta las orientaciones siguientes: dado que la inertización reduce los peligros de ignición, no es necesaria la desactivación inmediata (de emergencia) del suministro de combustible en caso de que se detecte una fuga. En caso de que se detecte una fuga, debería realizarse el cambio automático a los otros sistemas de suministro eléctrico y debería iniciarse la desactivación controlada de la pila de combustible y del sistema de suministro de combustible afectado evitando dañar el sistema generador de potencia a base de pilas de combustible.

2.1.2 El proyecto de los sistemas generadores de potencia a base de pilas de combustible debería cumplir normas del sector como mínimo equivalentes a aquellas que resulten aceptables para la Organización.³

2.2 Disposición y acceso

2.2.1 Las instalaciones generadoras de potencia a base de pilas de combustible se deberían proyectar para que funcionen automáticamente y deberían estar equipadas con todos los dispositivos de vigilancia y control necesarios para el funcionamiento seguro del sistema.

2.2.2 Se debería poder desactivar el sistema generador de potencia a base de pilas de combustible desde un lugar fácilmente accesible fuera de los espacios de pilas de combustible.

2.2.3 Deberían facilitarse medios para extraer en condiciones de seguridad el combustible primario y reformado del sistema generador de potencia a base de pilas de combustible.

2.2.4 Deberían facilitarse medios para fijar una instalación generadora de potencia a base de pilas de combustible en un estado seguro a efectos de mantenimiento y desactivación.

2.2.5 En el caso de los sistemas auxiliares del sistema generador de potencia a base de pilas de combustible en los que el combustible primario o el combustible reformado puedan fugarse directamente a un medio del sistema (por ejemplo, al agua de refrigeración), tales

² La fuente del umbral de 300 °C es la norma ISO/IEC 80079-20-1:2017, en la que la temperatura de superficie máxima se establece en 450 °C para el hidrógeno y el GNL, y en 300 °C para el alcohol metílico/etílico y el GPL. A fin de garantizar el funcionamiento seguro de los sistemas generadores de potencia a base de pilas de combustible independientemente del tipo de pila de combustible y del tipo de combustible, en estas directrices se hace referencia al umbral más bajo para los combustibles pertinentes mencionados en la norma ISO/IEC 80079-20-1:2017, a saber, 300 °C.

³ Véanse las normas IEC de la serie 62282: 62282-2-100:2020 y 62282-3-100:2019.

sistemas auxiliares deberían estar equipados con medios de detección y extracción adecuados instalados lo más cerca posible de las salidas de dicho medio del sistema a fin de evitar la dispersión del gas. El gas extraído del medio del sistema auxiliar se debería descargar en un emplazamiento seguro de la cubierta expuesta.

2.2.6 El equipo de reformado, si está instalado, puede ser parte integrante de la pila de combustible o estar dispuesto como una unidad independiente con una tubería de combustible reformado conectada a la pila o pilas de combustible.

2.2.7 Los contornos del espacio de pilas de combustible deberían ser estancos al gas cuando se comuniquen con otros espacios cerrados del buque.

2.2.8 Los espacios de pilas de combustible deberían estar dispuestos fuera de los espacios de alojamiento, los espacios de servicio, los espacios de máquinas de la categoría A y los puestos de control.

2.2.9 Los espacios de pilas de combustible deberían proyectarse de manera que contengan de forma segura las fugas de combustible y deberían disponer de sistemas adecuados de detección de fugas y deberían estar dispuestos de manera que se evite la acumulación de gas rico en hidrógeno⁴ mediante una configuración geométrica sencilla y sin estructuras que obstruyan la parte superior.

2.2.10 Los espacios de pilas de combustible que contengan reformadores de combustible deberían cumplir también las prescripciones pertinentes para el combustible primario.

2.2.11 Cuando no pueda disponerse un acceso independiente y directo a los espacios de pilas de combustible desde la cubierta expuesta, se debería acceder a esos espacios a través de una esclusa neumática.

2.2.12 No deberá contarse con una esclusa neumática si se adoptan las disposiciones técnicas adecuadas, de modo que el acceso al espacio no sea necesario ni posible antes de que el equipo en su interior se haya desactivado de manera segura y se haya aislado del sistema de combustible, se hayan drenado las fugas y se confirme que no hay gases en la atmósfera del interior.

2.2.13 Entre dichas disposiciones se encuentran las siguientes:

- .1 para las operaciones a distancia desde fuera del espacio, se deberían facilitar todos los dispositivos de control necesarios para el funcionamiento seguro y la desgasificación del equipo y del espacio;
- .2 todos los parámetros necesarios para el funcionamiento seguro y la desgasificación se deberían supervisar a distancia, y se deberían facilitar alarmas;
- .3 las aberturas de los espacios deberían estar provistas de un enclavamiento que impida el funcionamiento cuando el espacio esté abierto;
- .4 los espacios deberían estar provistos de medios adecuados de recogida y drenaje de las fugas de combustible para las operaciones a distancia desde fuera del espacio; y

⁴ Véase también la norma IEC 60079-10-1:2020.

- .5 se deberían adoptar disposiciones de modo que el equipo de combustible que se encuentra en el interior pueda aislarse del sistema de combustible, se drene el combustible que haya en él y el equipo pueda purgarse de manera segura para su mantenimiento.

2.3 Control atmosférico de los espacios de pilas de combustible

2.3.1 Generalidades

La protección de los espacios de pilas de combustible mediante un contorno externo que encierre los componentes que se alimentan de combustible puede garantizarse mediante ventilación o inertización. Estos métodos deberían ser igualmente aceptables para garantizar la seguridad del espacio.

2.3.2 Ventilación de los espacios de pilas de combustible

2.3.2.1 Los espacios de pilas de combustible deberían estar equipados con un sistema de ventilación mecánica eficaz a fin de mantener la presión relativa negativa en todo el espacio, teniendo en cuenta la densidad de los gases de combustible que podrían fugarse.

2.3.2.2 En el caso de los espacios de pilas de combustible en las cubiertas expuestas, puede considerarse la ventilación de sobrepresión.

2.3.2.3 El régimen de ventilación de los espacios de pilas de combustible debería ser suficiente para diluir la concentración media de gas/vapor por debajo del 25 % del LEL en todas las hipótesis de fugas máximas probables debidas a fallos técnicos.

2.3.2.4 Ningún conducto utilizado para la ventilación de los espacios de pilas de combustible se debería utilizar en otro espacio.

2.3.2.5 Los conductos de ventilación de los espacios que contengan tuberías de combustible reformado o fuentes de descarga deberían proyectarse y disponerse de manera que se evite toda posibilidad de acumulación de gas.

2.3.2.6 Deberían instalarse dos o más ventiladores para la ventilación del espacio de pilas de combustible con una redundancia del 100 % en caso de pérdida de uno de ellos. La fuente de energía de emergencia también debería suministrar el 100 % de la capacidad de ventilación.

2.3.2.7 En caso de fallo de un ventilador, debería producirse el cambio automático a otro ventilador y esto debería indicarse mediante una alarma.

2.3.2.8 En caso de pérdida de ventilación o pérdida de presión relativa negativa en el espacio de pilas de combustible, el sistema generador de pilas de combustible debería efectuar una desactivación automática controlada de la pila de combustible y aislar el suministro de combustible.

2.3.2.9 Las tomas del aire de ventilación de los espacios de pilas de combustible deberían provenir de zonas que, en ausencia de dichas tomas, no serían potencialmente peligrosas.

2.3.2.10 Las tomas del aire de ventilación que sirven a espacios cerrados no potencialmente peligrosos deberían provenir de zonas no potencialmente peligrosas emplazadas a 1,5 m, como mínimo, de los contornos de cualquier zona potencialmente peligrosa.

2.3.2.11 Las salidas del aire de ventilación de los espacios de pilas de combustible deberían estar situadas en una zona abierta cuyo posible peligro, en ausencia de dichas salidas, sería igual o inferior al del espacio ventilado.

2.3.3 *Inertización de los espacios de pilas de combustible a efectos de la protección contra incendios*

2.3.3.1 La inertización se debería aceptar para el control atmosférico de los espacios de pilas de combustible si se cumplen las siguientes condiciones:

- .1 la protección mediante inertización solo es aceptable si no es posible entrar en el espacio de pilas de combustible durante la inertización o una vez concluida esta, y las medidas de estanquidad deberían garantizar que no se produzcan fugas del gas inerte a los espacios adyacentes;
- .2 el sistema de inertización cumple lo dispuesto en el capítulo 15 del Código SSCI y los párrafos 6.13 y 6.14 del Código IGF;
- .3 la presión de los medios de inertización siempre debería mantenerse positiva y bajo vigilancia;
- .4 toda variación de presión que indique una ruptura del contorno exterior del espacio de pilas de combustible o una ruptura del contorno contiguo a un espacio en el que fluya el combustible (por ejemplo, batería de pilas de combustible, reformador, etc.) debería causar la desactivación controlada del suministro de combustible;
- .5 el espacio de pilas de combustible debería estar dotado de ventilación mecánica que permita evacuar el agente de inertización, una vez iniciada la liberación de agente de inertización;
- .6 el acceso al espacio inertizado de las pilas de combustible solo debería ser posible cuando el espacio se haya ventilado bien con aire fresco y el suministro de combustible se haya interrumpido y despresurizado o purgado; y
- .7 no se debería hacer funcionar el sistema de inertización cuando se realicen trabajos de mantenimiento o inspección.

2.4 **Materiales**

2.4.1 Los materiales de la instalación generadora de potencia a base de pilas de combustible deberían ser adecuados para la aplicación prevista y cumplir normas reconocidas.

2.4.2 Se debería reducir al mínimo la utilización de materiales combustibles dentro del sistema generador de pilas de combustible.

2.5 **Disposición de las tuberías para el sistema generador de potencia a base de pilas de combustible**

Las tuberías que contengan hidrógeno o combustible reformado para los sistemas generadores de potencia a base de pilas de combustible, cuando las hubiere:

- .1 no deberían tenderse a través de espacios cerrados fuera de los espacios de pilas de combustible;
- .2 deberían estar totalmente soldadas en la medida de lo posible;
- .3 deberían disponerse de forma que el número de conexiones se reduzca al mínimo; y
- .4 deberían disponer de detectores fijos de hidrógeno capaces de detectar fugas de hidrógeno en los lugares en los que puedan producirse estas, por ejemplo, válvulas, bridas y cierres.

2.6 Gases de escape y aire de escape

Los gases de escape y el aire de escape de los sistemas generadores de potencia a base de pilas de combustible no se deberían combinar con ninguna ventilación, salvo la de los espacios de pilas de combustible, y se deberían descargar en un lugar seguro al aire libre.

3 PREVENCIÓN DE INCENDIOS

3.1 Disposiciones generales sobre seguridad contra incendios o explosiones

Los espacios de pilas de combustible se deberían proyectar de forma que tengan una configuración geométrica que reduzca al mínimo la acumulación de gases o la formación de bolsas de gas.

- .1 El espacio de pilas de combustible se debería considerar espacio de máquinas de la categoría A de conformidad con el capítulo II-2 del Convenio SOLAS a efectos de prevención de incendios.
- .2 Los espacios de pilas de combustible deberían estar limitados por divisiones de clase "A-60". En los casos en que esta opción se considere inviable en la práctica, las Administraciones podrán aprobar proyectos de contorno alternativos que ofrezcan un nivel de seguridad equivalente.
- .3 El sistema de extinción de incendios debería ser apropiado para su uso con el combustible y la tecnología de las pilas de combustible específicos. Las Administraciones podrán permitir la aplicación de cualquier medida de seguridad contra incendios alternativa si se demuestra la equivalencia de la medida mediante una evaluación de riesgos en la que se tengan en cuenta las características de los combustibles para su utilización.
- .4 Debería facilitarse un sistema fijo de detección de incendios y de alarma contra incendios que cumpla lo dispuesto en el Código de sistemas de seguridad contra incendios (Código SSCI).
- .5 El tipo y la configuración del sistema de detección de incendios deberían seleccionarse teniendo debidamente en cuenta los combustibles y los gases combustibles que pueda haber en las instalaciones generadoras de potencia a base de pilas de combustible.

- .6 Los espacios de pilas de combustible deberían estar equipados con detectores de incendios adecuados.⁵ Los detectores de humo por sí solos no se consideran suficientes para detectar con rapidez un incendio cuando se utilizan combustibles gaseosos.

3.2 Prevención de incendios o explosiones

3.2.1 Los espacios de pilas de combustible separados por un solo mamparo deberían ser lo suficientemente fuertes para resistir los efectos de una explosión de gas local en cualquiera de los espacios sin que se vea afectada la integridad del espacio adyacente y del equipo contenido en ese espacio.

3.2.2 Los fallos que pueden dar lugar a una sobrepresión peligrosa (por ejemplo, rupturas de tuberías de gas o fallos de juntas) se deberían mitigar con dispositivos de alivio de presión contra explosiones y medios de desactivación en caso de emergencia.

3.2.3 La probabilidad de que se produzca una acumulación de gas y una explosión en los espacios de pilas de combustible debería reducirse al mínimo mediante una o varias de las estrategias que se indican a continuación:

- .1 purgar el sistema generador de potencia a base de pilas de combustible antes de que se inicie la reacción;
- .2 purgar el sistema si es necesario tras la desactivación;
- .3 facilitar la vigilancia de los fallos en los sistemas de contención de las pilas de combustible;
- .4 vigilar la posible contaminación de aire en las tuberías de combustible de las pilas de combustible o de combustible de dichas pilas en las tuberías de aire;
- .5 vigilar las presiones y las temperaturas;
- .6 aplicar una secuencia preprogramada para contener o gestionar la propagación de la reacción a otras secciones del sistema de pilas de combustible o al espacio circundante; y
- .7 cualquier otra estrategia que sea satisfactoria a juicio de la Administración.

3.3 Extinción de incendios

3.3.1 Para los espacios de pilas de combustible debería exigirse un sistema fijo de extinción de incendios.

3.3.2 El sistema de extinción de incendios debería ser apropiado para su utilización con el combustible primario y reformado específico y la tecnología de las pilas de combustible propuestos.

3.3.3 Los sistemas fijos de extinción de incendios deberían seleccionarse teniendo debidamente en cuenta el potencial de crecimiento del incendio de los espacios protegidos, y deberán estar disponibles para su utilización.

⁵ Para la selección de los detectores de incendios adecuados, puede tenerse en cuenta la norma ISO/TR 15916:2015.

3.4 Válvulas de mariposa contra incendios

3.4.1 Se deberían facilitar aberturas para la entrada y la salida de aire mediante válvulas de mariposa contra incendios de cierre automático y a prueba de fallos, que deberían accionarse desde fuera del espacio de pilas de combustible.

3.4.2 Las válvulas de mariposa contra incendios deberían cerrarse antes de que se active el sistema de extinción de incendios.

4 SISTEMAS ELÉCTRICOS

4.1 Disposiciones generales sobre los sistemas eléctricos

4.1.1 El equipo eléctrico no se debería instalar en zonas potencialmente peligrosas, a menos que sea esencial para fines operacionales o para aumentar la seguridad.

4.1.2 Cuando se instale un equipo eléctrico que incluya componentes de sistemas de pilas de combustible en zonas potencialmente peligrosas, el equipo se debería seleccionar, instalar y mantener de acuerdo con normas como mínimo equivalentes a aquellas que resulten aceptables para la Organización.⁶

4.1.3 Se deberían proporcionar medios para la protección de la instalación de las pilas de combustible contra cortocircuitos e inversiones de corriente.

4.2 Clasificación de zonas

4.2.1 A fin de facilitar la selección del aparato eléctrico adecuado y del proyecto de las instalaciones eléctricas idóneas, las zonas potencialmente peligrosas se dividen en los emplazamientos 0, 1 y 2, de conformidad con 4.2.2, 4.2.3 y 4.2.4. En los casos en que las prescripciones de 4.2.2, 4.2.3 y 4.2.4 se consideren inadecuadas, la Administración debería aplicar la clasificación de zonas de conformidad con la norma IEC 60079-10-1:2020 con especial consideración.

4.2.2 Emplazamiento 0 de zonas potencialmente peligrosas

Las siguientes zonas deberían tratarse como emplazamiento 0 de zonas potencialmente peligrosas: los interiores de los tanques protectores, reformadores, tuberías y equipo que contengan combustible con bajo punto de inflamación o combustible reformado, y todas las tuberías de alivio de presión u otros sistemas de respiración.

4.2.3 Emplazamiento 1 de zonas potencialmente peligrosas

Las siguientes zonas deberían tratarse como emplazamiento 1 de zonas potencialmente peligrosas:

- .1 Zonas de la cubierta expuesta, o espacios semicerrados en la cubierta, situados a menos de 3 m de cualquier salida de hidrógeno o combustible reformado o gas de purga, o de las salidas de ventilación de un espacio de pilas de combustible.
- .2 Zonas de la cubierta expuesta, o espacios semicerrados en la cubierta, situados a menos de 3 m de salidas del gas de escape y del aire de escape de las pilas de combustible.

⁶ Véanse la norma IEC 60079-10-1:2020: *Explosive atmospheres Part 10-1: Classification of areas – Explosive gas atmospheres*, y las orientaciones y ejemplos informativos de la norma IEC 60092-502:1999: *Electrical Installations in Ships – Tankers – Special Features for tankers*.

- .3 Zonas de la cubierta expuesta o espacios semicerrados de la cubierta situados a menos de 1,5 m de las entradas de los espacios de pilas de combustible, los orificios de entrada de ventilación de los espacios de pilas de combustible y otras aberturas que den a espacios del emplazamiento 1.
- .4 Zonas de la cubierta expuesta o espacios semicerrados situados a menos de 3 m de distancia en los que se encuentren otras fuentes de descarga de hidrógeno o combustible reformado.
- .5 Espacios de pilas de combustible.

4.2.4 Emplazamiento 2 de zonas potencialmente peligrosas

Las siguientes zonas deberían tratarse como emplazamiento 2 de zonas potencialmente peligrosas:

- .1 Zonas situadas a menos de 1,5 m alrededor de los espacios del emplazamiento 1 abiertos o semicerrados que se especifican más arriba, si no se indica lo contrario.
- .2 Esclusas neumáticas.

4.2.5 Los **conductos de ventilación** deberían tener la misma clasificación de zona que el espacio ventilado.

4.3 Análisis de riesgos

4.3.1 Para toda configuración o concepto nuevos o modificados de una instalación generadora de potencia a base de pilas de combustible debería realizarse un análisis de los riesgos a fin de garantizar que se tengan en cuenta todos los riesgos derivados de la utilización de pilas de combustible que afecten a la integridad del buque. Se deberían tener en cuenta los riesgos relacionados con la instalación, el funcionamiento y el mantenimiento tras cualquier fallo razonablemente previsible.

4.3.2 Los riesgos deberían analizarse utilizando técnicas de análisis de riesgos aceptables y reconocidas, y deberían tenerse en cuenta como mínimo los daños mecánicos de los componentes, los efectos operacionales y meteorológicos, los fallos eléctricos, las reacciones químicas no deseadas, la toxicidad, la autoignición de los combustibles, los incendios, las explosiones y los fallos del suministro eléctrico de corta duración (apagones). El análisis debería garantizar que los riesgos se eliminen siempre que sea posible. Los riesgos que no puedan eliminarse deberían mitigarse tanto como sea necesario.

5 SISTEMAS DE CONTROL, VIGILANCIA Y SEGURIDAD

5.1 Disposiciones generales sobre los sistemas de control, vigilancia y seguridad

5.1.1 Las piezas relacionadas con la seguridad de los sistemas de control de las pilas de combustible deberían proyectarse con independencia de cualquier otro sistema de control y vigilancia, o deberían ajustarse al proceso descrito en normas del sector que sean aceptables para la Organización⁷ en cuanto al nivel de funcionamiento o equivalente.

5.1.2 La pila de combustible debería vigilarse según las recomendaciones del fabricante.

⁷ Véase la norma ISO 13849-1:2015-06.

5.2 Detección de gas o vapor

5.2.1 Debería disponerse de un sistema de detección de gas/vapor que estuviera instalado permanentemente para:

- .1 espacios de pilas de combustible;
- .2 las esclusas neumáticas (si las hay);
- .3 los tanques de expansión/depósitos de desgasificación en los sistemas auxiliares del sistema generador de pilas de combustible en el que el combustible primario o el combustible reformado puedan filtrarse directamente al medio del sistema (por ejemplo, el agua de refrigeración); y
- .4 otros espacios cerrados en los que pueda acumularse el combustible primario/reformado.

5.2.2 Los sistemas de detección deberían vigilar el gas/vapor de manera continua. El número de detectores en el espacio de pilas de combustible debería examinarse teniendo en cuenta el tamaño, la configuración y la ventilación del espacio. Los detectores deberían ubicarse donde pueda acumularse el gas/vapor y/o en los orificios de salida de la ventilación. Debería utilizarse el análisis por dispersión del gas o una prueba de humo física para encontrar la configuración más adecuada.

5.2.3 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 autovigilancia, se podrá permitir la instalación de un solo detector.

5.3 Funcionamiento de la ventilación

A fin de verificar el funcionamiento del sistema de ventilación, debería instalarse un sistema de detección del flujo de la ventilación y de la presión del espacio de pilas de combustible. Para verificar el funcionamiento no basta con una señal que indique que el motor del ventilador está funcionando.

5.4 Pozos de sentina

Los pozos de sentina en los espacios de pilas de combustible deberían contar con sensores de nivel.

5.5 Desactivación manual en caso de emergencia

5.5.1 La puesta en marcha manual de la desactivación en caso emergencia debería llevarse a cabo en los siguientes puntos, según corresponda:

- .1 el puente de navegación;
- .2 el centro de seguridad de a bordo;
- .3 la cámara de mando de máquinas
- .4 el puesto de control contraincendios; y
- .5 la zona adyacente a la salida del espacio de pilas de combustible.

5.6 Medidas del sistema de alarma y del sistema de seguridad

5.6.1 Detección de gas o vapor

5.6.1.1 Si, en un espacio de pilas de combustible, se detecta gas/vapor en una concentración superior al 20 % del LEL, debería emitirse una alarma.

5.6.1.2 La detección de gas/vapor en un espacio de pilas de combustible en una concentración superior al 40 % del LEL debería desactivar el sistema generador de potencia a base de pilas de combustible y desconectar las fuentes de ignición, lo cual debería traducirse en el cierre automático de todas las válvulas necesarias para aislar la fuga. Si no se ha certificado para su funcionamiento en emplazamientos potencialmente peligrosos de la zona 1, la batería de pilas de combustible debería aislarse eléctricamente y desconectarse inmediatamente. Las válvulas del sistema de combustible primario que suministre combustible líquido o gaseoso al espacio de pilas de combustible deberían cerrarse automáticamente.

5.6.1.3 El tanque de "suministro/alimentación" del refrigerante de la pila de combustible debería contar con detección de gas/vapor, y esto debería activar una alarma.

5.6.2 Detección de líquido

La detección de fugas de líquido imprevistas en el espacio de pilas de combustible debería activar una alarma. Un posible medio de detección sería un avisador de nivel alto en la sentina.

5.6.3 Pérdida de ventilación

5.6.3.1 La pérdida de ventilación en un espacio de pilas de combustible debería traducirse en la desactivación automática de la pila de combustible por parte del control del proceso en un periodo de tiempo limitado. El periodo de desactivación por parte del control del proceso debería examinarse caso por caso, basándose en el análisis de los riesgos.

5.6.3.2 Cuando finalice el periodo, debería llevarse a cabo una desactivación de seguridad.

5.6.4 Pulsadores de desactivación de emergencia

La activación del pulsador de desactivación de emergencia debería traducirse en la interrupción del suministro de combustible al espacio de pilas de combustible y en la desactivación de las fuentes de ignición dentro de dicho espacio.

5.6.5 Pérdida de refrigerante en la pila de combustible

La pérdida de refrigerante en la pila de combustible debería producir la desactivación automática de la pila de combustible por parte del control del proceso en un periodo de tiempo limitado. Para evitar una posible fuga de refrigerante en el espacio de pilas de combustible, debería proporcionarse una contención secundaria de la tubería del refrigerante o el equipo dentro del espacio de pilas de combustible debería protegerse contra una fuga de refrigerante. Debería examinarse la retirada del refrigerante en condiciones seguras.

5.6.6 Detección de incendios

La detección de un incendio dentro del espacio de pilas de combustible debería iniciar la desactivación automática y el aislamiento del suministro de combustible.

5.6.7 Desactivación de la pila de combustible por altas temperaturas

Para los espacios de pilas de combustible clasificados como emplazamientos potencialmente peligrosos de la zona 1 en los que la batería de pilas de combustible no se ha certificado para su funcionamiento en emplazamientos potencialmente peligrosos de la zona 1 y la temperatura de la superficie de la batería supera los 300 °C, el sistema generador de potencia a base de pilas de combustible debería desactivarse inmediatamente y el espacio de batería de combustible debería aislarse.

5.7 Alarmas

5.7.1 En las disposiciones que se indican en la sección 5.6, así como en el cuadro 1, se especifican las alarmas de la instalación generadora de potencia a base de pilas de combustible.

5.7.2 Es posible que se recomienden alarmas adicionales a las que se prescriben en el cuadro 1 para las instalaciones generadoras de potencia a base de pilas de combustible poco convencionales o complejas.

Cuadro 1: Alarmas

	Condiciones de la alarma
Detección del gas al 20 % del LEL	
Espacios de pilas de combustible	HA
Tanques de expansión/depósitos de desgasificación en los sistemas para calentamiento/refrigeración	HA
Esclusas neumáticas	HA
Otros espacios cerrados en los que pueda acumularse combustible primario/reformado	HA
Detección de líquidos	
Espacio de pilas de combustible en virtud de 5.6.2.1	HA
Ventilación	
Ventilación reducida en los espacios de pilas de combustible	LA
Otras condiciones de la alarma	
Esclusa neumática, varias puertas se han desplazado de la posición de cierre	A
Esclusa neumática, puerta abierta en la pérdida de ventilación	A
<i>A = alarma activada para un valor lógico</i> <i>LA = alarma para un valor bajo</i> <i>HA = alarma para un valor alto</i>	

5.8 Medidas de seguridad

5.8.1 En las disposiciones sobre medidas de seguridad de la sección 5.6 y en el cuadro 2 se especifican las medidas de seguridad de las instalaciones generadoras de potencia a base de pilas de combustible para limitar las consecuencias de los fallos del sistema.

5.8.2 Puede que se recomienden medidas de seguridad adicionales a las que se prescriben en el cuadro 2 para las instalaciones generadoras de potencia a base de pilas de combustible poco convencionales o complejas.

Cuadro 2: Medidas de seguridad

	<i>Alarma</i>	<i>Desactivación de la válvula del espacio de pilas de combustible</i>	<i>Desactivación de la fuente de ignición</i>	<i>Señal a otros sistemas de control/seguridad para medidas adicionales</i>
Pérdida de refrigerante de las pilas de combustible en virtud de 5.6.6.1	X	X		
40 % del LEL dentro del espacio de pilas de combustible (incluye la detección de fugas de hidrógeno en virtud de 2.5.1.4)	X	X	X	Si no se ha certificado para su funcionamiento en emplazamientos peligrosos de la zona 1, la batería de pilas de combustible debería aislarse eléctricamente y desconectarse inmediatamente.
Pérdida de ventilación o pérdida de presión negativa en un espacio de pilas de combustible	X	X		El control del proceso debería desactivar automáticamente la pila de combustible
Detección de incendios dentro del espacio de pilas de combustible	X	X	X	Desactivación de la ventilación, activación del sistema de extinción de incendios
Botón de desactivación de emergencia	X	X	X	
Temperatura de la superficie de la batería de pilas de combustible >300 °C	X	X	X	Si la batería de pilas de combustible no está certificada para la zona 1