Almacenamiento estacionario de GNL

8.1 Alcance.

Este capítulo presenta los requisitos para la inspección, diseño, marcado, prueba y operación de sistemas de tanques estacionarios de GNL y contenedores ASME.

8.2 General.

**8.2.1 Sistemas de tanques de almacenamiento.**

**8.2.1.1**

Los sistemas de tanques de almacenamiento, incluidos los sistemas de tanques de contención de membrana , deberán cumplir con los requisitos de la norma API 625, *Sistemas de Tanques para el Almacenamiento de Gas Licuado Refrigerado* , y las disposiciones adicionales de este capítulo. La evaluación de riesgos de la norma API 625 deberá ser aprobada por la Autoridad competente.

**8.2.1.2**

Los contenedores de metal que forman parte de un sistema de tanque de almacenamiento de GNL deben cumplir con la norma API Std 620, *Diseño y construcción de tanques de almacenamiento grandes, soldados y de baja presión* , y los requisitos adicionales de la Sección  [**8.4**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000440) .

**8.2.1.3**

Los contenedores de hormigón y de hormigón compuesto revestidos de metal que forman parte de un sistema de tanque de almacenamiento de GNL deberán cumplir con ACI 376, *Requisitos del código para el diseño y construcción de estructuras de hormigón para la contención de gases licuados refrigerados* , y los requisitos de la Sección  [**8.4**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000440) .

**8.2.1.4**

La membrana metálica, el aislamiento portante y la barrera de humedad del contenedor exterior específicos del sistema de tanque de membrana deben cumplir con la norma BS EN 14620, *Diseño y fabricación de tanques de acero cilíndricos, verticales y de fondo plano, construidos en el sitio para el almacenamiento de gases licuados refrigerados con temperaturas de funcionamiento entre 0 °C y -165 °C* , Partes 1 a 5, para selección de materiales, diseño, instalación, examen y prueba y otros requisitos de la Sección  [**8.4**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000440) .

**8.2.1.5**

Todos los demás componentes del sistema de tanque de membrana deben cumplir con las normas API Std 625, *Sistemas de tanques para almacenamiento de gas licuado refrigerado* ; API Std 620, *Diseño y construcción de tanques de almacenamiento grandes, soldados y de baja presión* ; ACI 376, *Requisitos del código para el diseño y la construcción de estructuras de hormigón para la contención de gases licuados refrigerados* ; y requisitos adicionales en la Sección  [**8.4**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000440) .

**8.2.1.6**

Si existiera algún conflicto entre los requisitos de [**8.2.1.1**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000342) a [**8.4.6**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A001779) , se aplicará el requisito más estricto.

**8.2.2 Contenedores ASME.**

Los contenedores ASME deberán cumplir con los requisitos de la Sección  [**8.5**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000489) y la Sección VIII del *Código de Calderas y Recipientes a Presión* ASME y deberán tener el sello ASME y estar registrados en la Junta Nacional de Inspectores de Calderas y Recipientes a Presión u otras agencias que registren recipientes a presión.

8.3 Consideraciones de diseño.

**8.3.1 Generalidades.**

**8.3.1.1**

Las partes de los contenedores de GNL que normalmente están en contacto con el GNL y todos los materiales utilizados en contacto con el GNL o con vapor de GNL frío [vapor a una temperatura inferior a -20 °F (-29 °C)] deberán ser física y químicamente compatibles con el GNL y estar destinados a funcionar a -270 °F (-168 °C).

**8.3.1.2**

Se supondrá que la densidad del líquido es la masa real por unidad de volumen a las temperaturas mínimas de almacenamiento, excepto que la densidad mínima para fines de diseño será 29,3 lb/ft3 ( 470 kg/ m3 ).

**8.3.2 Cargas de viento, inundaciones y nieve.**

**8.3.2.1**

Las cargas de viento, inundaciones, incluidas las marejadas ciclónicas causadas por huracanes y nieve para el diseño de sistemas de tanques de GNL y contenedores de almacenamiento de GNL se determinarán utilizando los procedimientos descritos en ASCE 7, *Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras* , según se modifica en esta norma.

**8.3.2.1.1**

Para determinar los riesgos de diseño por inundaciones y marejadas ciclónicas causadas por huracanes, se utilizará un intervalo de ocurrencia promedio de 500 años que incluya el aumento relativo del nivel del mar y los efectos de las olas impulsadas por el viento.

**8.3.2.1.2**

Para las cargas de nieve, cuando se utiliza un enfoque probabilístico, se utilizará un intervalo de ocurrencia promedio de 100 años.

**8.3.2.1.3**

Los sistemas de tanques de GNL y los contenedores de GNL deberán estar diseñados o protegidos de otro modo contra viento, inundaciones, marejadas ciclónicas y cargas de nieve.

[**8.3.2.2\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/8#ID00059A002345)

La velocidad básica del viento en el diseño se basará en un intervalo de ocurrencia promedio de 10.000 años para los contenedores de almacenamiento de GNL y para las estructuras, equipos y tuberías soportados por los contenedores de almacenamiento de GNL y ASCE 7, Categoría de riesgo IV , para todas las demás estructuras que soportan equipos.

**8.3.3 Marcado de sistemas de tanques de GNL y contenedores ASME.**

**8.3.3.1**

Cada sistema de tanque de GNL deberá estar identificado mediante la fijación en un lugar accesible de una placa de identificación resistente a la corrosión, tal como se define en la norma API Std 625, *Sistemas de tanques para almacenamiento de gas licuado refrigerado* .

**8.3.3.2**

Los contenedores ASME deberán identificarse mediante la colocación de una placa de identificación resistente a la corrosión según lo exige la Sección VIII del *Código de calderas y recipientes a presión* ASME .

**8.3.3.3**

Los sistemas de tanques de almacenamiento deberán tener todas las penetraciones marcadas con la función de la penetración.

**8.3.3.4**

Las marcas de penetración deberán ser visibles si se produce escarcha.

[**8.3.4\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/8#ID00059A001620) **Cimentaciones.**

Los contenedores de GNL se instalarán sobre cimientos diseñados por un ingeniero calificado y construidos de acuerdo con prácticas de ingeniería estructural reconocidas.

**8.3.5 Inspección.**

**8.3.5.1**

Antes de la operación inicial, se deberán inspeccionar los sistemas de tanques para garantizar el cumplimiento con las disposiciones de diseño de ingeniería y materiales, fabricación, ensamblaje y pruebas de esta norma.

**8.3.5.2**

La inspección será realizada por inspectores que sean empleados del operador, de una organización de ingeniería o científica o de una compañía de seguros o de inspección reconocida.

**8.3.5.3**

Los inspectores deberán estar calificados de acuerdo con el código o norma aplicable al contenedor y según lo especificado en esta norma.

**8.3.6 Soldadura en contenedores después de completar las pruebas de aceptación .**

Una vez completadas las pruebas de aceptación, no se realizarán soldaduras en campo en los contenedores de GNL, excepto lo permitido en [**8.3.6.1**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000487) y [**8.3.6.2**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000488) .

**8.3.6.1**

La soldadura en campo se limitará a las placas de asiento o soportes provistos para tal fin y a las reparaciones y restauraciones de aberturas temporales permitidas según el código o la norma de fabricación.

**8.3.6.2**

Sólo se requerirá una nueva prueba mediante un método apropiado para la reparación o modificación cuando la reparación o modificación sea de tal naturaleza que una nueva prueba realmente pruebe el elemento afectado y sea necesaria para demostrar la idoneidad de la reparación o modificación.

**8.3.7 Contenedores enterrados y subterráneos.**

**8.3.7.1**

Los contenedores enterrados y bajo tierra deberán estar provistos de medios para evitar que la isoterma de 32 °F (0 °C) penetre en el suelo.

**8.3.7.2**

Cuando se utilicen sistemas de calefacción, se deberán instalar de manera que cualquier elemento de calefacción o sensor de temperatura utilizado para el control pueda reemplazarse.

[**8.3.7.3\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/8#ID00059A002218)

Todos los componentes enterrados o amontonados en contacto con el suelo deberán construirse con material resistente a la corrosión del suelo o protegerse para minimizar la corrosión.

8.4 Sistemas de tanques.

[**8.4.1\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/8#ID00059A001623) **Certificación .**

Una vez completadas todas las pruebas e inspecciones de cada sistema de tanque de GNL, el contratista deberá certificar al comprador que el sistema de tanque de GNL se ha construido de acuerdo con los requisitos aplicables de esta norma.

**8.4.2  Tuberías.**

Todas las tuberías que forman parte de un sistema de tanque de GNL deben cumplir con los requisitos de este capítulo y los requisitos de la norma API Std 625 *, Sistemas de tanques para almacenamiento de gas licuado refrigerado* .

**8.4.2.1**

Las tuberías del sistema de tanque deben incluir todas las tuberías internas del contenedor, dentro de los espacios de aislamiento y dentro de los espacios vacíos, las tuberías externas unidas o conectadas al contenedor hasta la primera unión externa circunferencial de la tubería y las tuberías externas que sirven únicamente a la instrumentación del sistema de tanque (incluidas las válvulas de alivio de presión del sistema de tanque).

**8.4.2.2**

Todas las tuberías de líquido con una fuente de presión de línea externa deberán estar diseñadas para el ajuste de la válvula de alivio de línea externa, pero no menos de 50 psi (345 kPa).

**8.4.2.3**

Los sistemas de tanques de contención dobles, completos y de membrana no deberán tener penetraciones de tuberías por debajo del nivel del líquido.

**8.4.2.4**

Los sistemas de purga de gas inerte ubicados completamente dentro de los espacios de aislamiento y las tuberías de descarga de la válvula de alivio estarán exentos del cumplimiento.

[**8.4.3\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/8#ID00059A001616) **Relleno.**

Todos los sistemas de tanques de GNL deberán estar diseñados para llenado tanto superior como inferior, a menos que se proporcionen otros medios de proceso para mitigar la estratificación.

**8.4.4  Exposición a bajas temperaturas.**

**8.4.4.1**

Cualquier porción de la superficie exterior de un sistema de tanque de GNL o miembros externos cuya falla pudiera resultar en pérdida de contención debido a la exposición accidental a bajas temperaturas resultantes de la fuga de GNL o vapor frío de bridas, válvulas, sellos u otras conexiones no soldadas, deberán estar diseñados para dichas temperaturas o protegidos de otro modo de los efectos de la exposición a bajas temperaturas.

**8.4.4.2**

Cuando dos o más sistemas de tanques estén ubicados en un dique común, la base de cada sistema de tanques deberá ser capaz de soportar el contacto con GNL o deberá estar protegida contra el contacto con una acumulación de GNL que pueda poner en peligro la integridad estructural.

[**8.4.5\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/8#ID00059A001617) **Retirada del servicio.**

Se deberán tomar disposiciones para retirar del servicio el sistema de tanque.

**8.4.6  Resistencia de carga.**

Todos los componentes del sistema de tanque de membrana, incluido el aislamiento, la membrana primaria y la barrera secundaria del sistema de protección térmica cuando sea necesario, deberán diseñarse de tal manera que puedan soportar todas las combinaciones creíbles de acciones estáticas y dinámicas durante la vida útil del sistema de tanque.

**8.4.7 Aislamiento de contenedores.**

**8.4.7.1**

El aislamiento expuesto deberá cumplir con lo siguiente:

* (1)

Ser incombustible

* (2)

Contendrá o será inherentemente una barrera de vapor.

* (3)

Estar libre de agua

* (4)

Resistir el desprendimiento por chorros de manguera contra incendios

**8.4.7.1.1**

Cuando se utilice una cubierta exterior para retener el aislamiento suelto, la cubierta deberá construirse de acero u hormigón.

**8.4.7.1.2**

La protección contra la intemperie expuesta deberá tener un índice de propagación de llama no mayor a 25. *(Véase*[***3.3.15***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/3#ID00059A000069)*.)*

**8.4.7.2**

El espacio entre el contenedor interior y el contenedor exterior deberá contener un aislamiento que sea compatible con GNL y gas natural y que no sea combustible tal como está instalado para todas las condiciones de servicio y que cumpla con los requisitos de [**8.4.7.2.1**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000370) a [**8.4.7.2.6**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A002241) .

**8.4.7.2.1**

Un incendio externo al contenedor exterior no deberá provocar daños al sistema de aislamiento ni una reducción en el rendimiento del sistema de contención interno debido a daños a cualquier componente de los sistemas de aislamiento.

**8.4.7.2.2**

El aislamiento inferior portante deberá diseñarse e instalarse de manera que el agrietamiento por tensiones térmicas y mecánicas no ponga en peligro la integridad del contenedor.

**8.4.7.2.3**

Se deberá demostrar mediante pruebas que las propiedades de combustión del material no aumentan significativamente como resultado de la exposición prolongada al GNL o al gas natural a la presión y temperatura de servicio previstas.

**8.4.7.2.4**

Se deberá demostrar que los materiales en la condición instalada son capaces de ser purgados de gas natural hasta el punto en que el gas natural restante después de la purga no aumente la combustibilidad del material.

**8.4.7.2.5**

Los materiales en el estado instalado no deberán soportar la combustión progresiva continua en el aire.

**8.4.7.2.6**

Durante la construcción y después del desmantelamiento para realizar trabajos de reparación se deberán proporcionar las siguientes medidas de mitigación :

* (1)

No se deberá realizar ningún trabajo en caliente que pueda provocar la combustión del aislamiento en las proximidades del mismo después de su instalación o después de su desmantelamiento para trabajos de reparación, a menos que el aislamiento esté protegido adecuadamente de fuentes de ignición.

* (2)

Cualquier herramienta o equipo utilizado durante la construcción o reparación del aislamiento que tenga el potencial de introducir niveles peligrosos de calor en los componentes de aislamiento combustibles deberá requerir controles de temperatura a prueba de fallas para garantizar que el calor aplicado no exceda los límites requeridos.

* (3)

Los procedimientos de reparación en las proximidades del aislamiento deberán ser aprobados por la Autoridad competente.

**8.4.7.3**

El aislamiento de los sistemas de tanques deberá cumplir con los requisitos de la Sección 9 de la norma API Std 625, *Sistemas de tanques para almacenamiento de gas licuado refrigerado* .

**8.4.8  Sistemas de tanques de GNL: secado, purga y enfriamiento.**

**8.4.8.1**

Antes de poner en servicio un sistema de tanque de GNL, deberá secarse, purgarse y enfriarse de acuerdo con [**18.3.5**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/18#ID00059A001252) y [**18.6.5**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/18#ID00059A001299) .

**8.4.8.2**

Los sistemas de tanques de GNL deben incluir las disposiciones de la norma API Std 625, *Sistemas de tanques para almacenamiento de gas licuado refrigerado* , y/o ACI 376, *Requisitos del código para el diseño y construcción de estructuras de hormigón para la contención de gases licuados refrigerados* , según corresponda al tipo de construcción del sistema de tanque.

**8.4.9 Dispositivos de alivio.**

**8.4.9.1**

Todos los contenedores de GNL deberán estar equipados con válvulas de alivio de presión y vacío según lo requiera el código o la norma de fabricación.

**8.4.9.2**

Los dispositivos de alivio de presión y vacío en servicio deberán comunicarse directamente con la atmósfera.

**8.4.9.3**

Se deberán instalar dispositivos de alivio de vacío si el contenedor puede estar expuesto a una condición de vacío superior a aquella para la cual está diseñado.

**8.4.9.4**

Cada válvula de alivio de seguridad de presión y vacío para sistemas de tanques de GNL deberá poder aislarse de los sistemas de tanques para mantenimiento u otros fines por medio de una válvula de parada manual de apertura total.

**8.4.9.4.1**

Las válvulas de cierre deberán poder bloquearse o sellarse en la posición completamente abierta.

**8.4.9.4.2**

Se instalarán válvulas de alivio de presión y vacío en el sistema de tanque de GNL para permitir que cada válvula de alivio se aísle individualmente mientras se mantiene la capacidad de alivio requerida.

**8.4.9.4.3**

Cuando sólo se requiera un dispositivo de alivio, se deberá instalar una válvula de tres vías de apertura total que conecte la válvula de alivio y su repuesto al contenedor o dos válvulas de alivio conectadas por separado al contenedor, cada una con una válvula.

**8.4.9.4.4**

No se deberá cerrar más de una válvula de cierre a la vez.

**8.4.9.4.5**

Las chimeneas o respiraderos de descarga de las válvulas de alivio de seguridad deberán diseñarse e instalarse para evitar la acumulación de agua, hielo, nieve u otras materias extrañas y deberán descargar verticalmente hacia arriba.

**8.4.9.5 Dimensionamiento del dispositivo de alivio de presión.**

**8.4.9.5.1**

La capacidad de los dispositivos de alivio de presión se basará en lo siguiente:

* (1)

Exposición al fuego

* (2)

Alteración operativa, como fallo de un dispositivo de control

* (3)

Otras circunstancias resultantes de fallos de los equipos y errores de funcionamiento

* (4)

Desplazamiento de vapor durante el llenado

* (5)

Vaporización instantánea durante el llenado, como resultado del llenado o como consecuencia de la mezcla de productos de diferentes composiciones.

* (6)

Pérdida de refrigeración

* (7)

Entrada de calor de la recirculación de la bomba

* (8)

Caída de la presión barométrica

**8.4.9.5.2**

Los dispositivos de alivio de presión deberán dimensionarse para aliviar la capacidad de flujo determinada para el flujo de alivio individual más grande o cualquier combinación razonable y probable de flujos de alivio.

[**8.4.9.5.3\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/8#ID00059A001618)

La capacidad mínima de alivio de presión en libras por hora (kilogramos por hora) no debe ser inferior al 3 por ciento del contenido del sistema de tanque lleno en 24 horas.

**8.4.9.6 Dimensionamiento del alivio de vacío.**

**8.4.9.6.1**

La capacidad de los dispositivos de alivio de vacío se basará en lo siguiente:

* (1)

Extracción de líquido o vapor al caudal máximo

* (2)

Aumento de la presión barométrica

* (3)

Reducción de la presión del espacio de vapor como resultado del llenado con líquido subenfriado

**8.4.9.6.2**

Los dispositivos de alivio de vacío deberán dimensionarse para aliviar la capacidad de flujo determinada para la contingencia individual más grande o cualquier combinación razonable y probable de contingencias, menos la tasa de vaporización que se produce a partir de la ganancia de calor normal mínima en el contenido del contenedor.

**8.4.9.6.3**

No se permitirá crédito por capacidad de alivio de vacío para sistemas de represión de gas o sistemas de reposición de vapor.

**8.4.9.7 Exposición al fuego.**

**8.4.9.7.1**

La capacidad de alivio de presión requerida para la exposición al fuego se calculará mediante las siguientes fórmulas:

Para unidades habituales de EE. UU .:

[8.4.9.7.1a]

Imagen del libro de códigos: ad123c1a-b99d-11ec-a9ce-ed6b11933ac5

Para unidades SI:

[8.4.9.7.1b]

Imagen del libro de códigos: ab4dcfb1-b99d-11ec-a9ce-ed6b11933ac5

dónde:

*H*=

entrada total de calor [Btu/h (vatio)]

*F*=

Factor ambiental de la Tabla8.4.9.7.1

*A*=

Área de superficie húmeda expuesta del contenedor hasta una altura de 30 pies (9 m) sobre el nivel del suelo [ft2(m2 ) ]

*H n*=

Fuga de calor normal en tanques refrigerados [Btu/h (vatios)]

|  |  |
| --- | --- |
| **Tabla 8.4.9.7.1 Factores ambientales** | |
| **Base** | **Factor*F*** |
| Contenedor base | 1.0 |
| Instalaciones de aplicación de agua | 1.0 |
| Instalaciones de despresurización y vaciado | 1.0 |
| contenedor subterráneo | 0 |
| Aislamiento o protección térmica\* Unidades habituales de EE. UU. | Imagen del libro de códigos: acc04b86-b99d-11ec-a9ce-ed6b11933ac5 |
| Unidades del SI | Imagen del libro de códigos: a9a74b8f-b99d-11ec-a9ce-ed6b11933ac5 |
| \* *U* = coeficiente de transferencia de calor general Btu/(hr · ft 2 ·°F) [W/(m 2 ·°C)] del sistema de aislamiento utilizando el valor medio para el rango de temperatura de *T f* a +1660 °F (904 °C); *T f* = temperatura del contenido del recipiente en condiciones de alivio, °F (°C). | |

[**8.4.9.7.2\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/8#ID00059A001619)

Cuando se utilice, el aislamiento deberá resistir el desprendimiento por el equipo contra incendios , deberá ser incombustible y no deberá descomponerse a temperaturas de hasta 1000 °F (538 °C) para que se pueda utilizar el factor ambiental del aislamiento.

**8.4.9.7.3 Capacidad de la válvula de alivio de presión.**

**8.4.9.7.3.1**

La capacidad de alivio se determinará mediante la siguiente fórmula:

[8.4.9.7.3.1]

Imagen del libro de códigos: a91fcc08-b99d-11ec-a9ce-ed6b11933ac5

dónde:

*O*=

Capacidad de alivio del vapor del producto en condiciones de alivio [lb/h (g/s)]

*H*=

entrada total de calor, Btu/h (vatios)

*Yo*=

calor latente de vaporización del líquido almacenado a la presión y temperatura de alivio, Btu/lb (J/g)

**8.4.9.7.3.2**

El caudal de aire equivalente se calculará a partir de las siguientes fórmulas:

Para unidades habituales de EE. UU .:

[8.4.9.7.3.2a]

Imagen del libro de códigos: a98bad3d-b99d-11ec-a9ce-ed6b11933ac5

Para unidades SI:

[8.4.9.7.3.2b]

Imagen del libro de códigos: ac32b17f-b99d-11ec-a9ce-ed6b11933ac5

dónde:

*Pregunta​*=

capacidad de flujo equivalente de aire a 60 °F (15 °C) y presión absoluta de 14,7 psi (101 kPa) [ft 3 /hr (m3/hora)]

*O*=

Capacidad de alivio del vapor del producto en condiciones de alivio [lb/h (g/s)]

*T*=

temperatura absoluta del vapor del producto en condiciones de alivio [°R (K)]

*Z*=

factor de compresibilidad del vapor del producto en condiciones de alivio

*METRO*=

masa molecular del vapor del producto [lbm/lb mol (g/g mol)]

**8.4.10 Cimentaciones.**

**8.4.10.1**

Las cimentaciones de los sistemas de tanques deberán diseñarse de acuerdo con ACI 376, *Requisitos del código para el diseño y construcción de estructuras de hormigón para la contención de gases licuados refrigerados* .

**8.4.10.2 Investigación y evaluación.**

**8.4.10.2.1**

Antes de comenzar el diseño y la construcción de los cimientos, un ingeniero geotécnico deberá realizar una investigación y evaluación del subsuelo para determinar la estratigrafía y las propiedades físicas de los suelos subyacentes al sitio.

**8.4.10.2.2**

Se deberá incluir una evaluación de licuefacción de acuerdo con 11.8.3 de ASCE 7, *Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras , como parte de la evaluación en*[**8.4.10.2.1**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A002329) .

**8.4.10.3**

El fondo del recipiente exterior deberá estar por encima del nivel freático o protegido del contacto con el agua subterránea en todo momento.

**8.4.10.4**

El material del fondo del contenedor exterior en contacto con el suelo deberá cumplir uno de los siguientes requisitos:

* (1)

Seleccionado para minimizar la corrosión

* (2)

Recubierto o protegido para minimizar la corrosión.

* [**(3)\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/8#ID00059A001621)

Protegido por un sistema de protección catódica

**8.4.10.5**

Cuando no exista un espacio de aire debajo de la base del sistema de tanque, se deberá instalar un sistema de calefacción para evitar que la isoterma de 32 °F (0 °C) penetre en el suelo.

**8.4.10.5.1**

El sistema de calefacción deberá estar diseñado para permitir el monitoreo funcional y del rendimiento.

**8.4.10.5.2**

Cuando exista una discontinuidad en la cimentación, como por ejemplo en las tuberías del fondo, se deberá prestar atención y tratar por separado el sistema de calefacción en esta zona.

**8.4.10.5.3**

Los sistemas de calefacción deberán diseñarse, seleccionarse e instalarse de manera que cualquier elemento de calefacción y sensor de temperatura utilizado para el control pueda reemplazarse después de la instalación.

[**8.4.10.5.4\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/8#ID00059A001622)

Se incorporarán disposiciones para evitar la acumulación de humedad en el conducto.

**8.4.10.6**

Si la base está diseñada para proporcionar circulación de aire en lugar de un sistema de calefacción, el fondo del contenedor exterior deberá ser de un material compatible con las temperaturas a las que puede estar expuesto.

**8.4.10.7**

Se deberá instalar un sistema de monitoreo de temperatura del fondo del contenedor capaz de medir la temperatura en un patrón predeterminado sobre toda el área de la superficie con el fin de monitorear el desempeño del aislamiento del fondo y el sistema de calefacción de la base del contenedor (si se proporciona).

**8.4.10.8**

Se deberán instalar y utilizar puntos de referencia para los estudios de elevación de cimientos antes, durante y después de las pruebas hidrostáticas, y a intervalos de tres meses hasta que el asentamiento se vuelva predecible.

**8.4.11 Contenedores metálicos.**

**8.4.11.1  Sistemas de tanques de baja presión.**

Los contenedores soldados diseñados para no más de 15 psi (103 kPa) deberán cumplir con la norma API Std 620, *Diseño y construcción de tanques de almacenamiento grandes, soldados y de baja presión* .

[**8.4.11.2\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/8#ID00059A001624) **Sistemas de tanques de baja presión para servicio de GNL.**

El Apéndice Q de la norma API Std 620, *Diseño y construcción de tanques de almacenamiento grandes, soldados y de baja presión* , será aplicable para GNL, excepto que la frecuencia de examen por radiografía o métodos ultrasónicos en contenedores de líquido primarios y secundarios se incrementará al 100 por ciento para todas las soldaduras a tope en la carcasa cilíndrica (excepto las soldaduras de carcasa a fondo asociadas con un contenedor de fondo plano) y todas las juntas radiales de placa anular soldadas a tope.

**8.4.11.3  Sistemas de tanques de contención de membrana .**

Para los sistemas de tanques de contención de membrana , el procedimiento de soldadura y las pruebas de soldadura de producción deben cumplir con la norma BS EN 14620, *Diseño y fabricación de tanques de acero cilíndricos, verticales y de fondo plano, construidos en el sitio para el almacenamiento de gases licuados refrigerados con temperaturas de operación entre 0 °C y -165 °C* , Parte 2, y los requisitos de [**8.4.11.3.1**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A001781) a [**8.4.11.3.5**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A001790) .

**8.4.11.3.1 Calificación de soldadores.**

Todo el personal asociado con la fabricación de soldadura del sistema de membrana deberá estar calificado por el fabricante según un programa acordado entre el comprador, la Autoridad competente y el fabricante, y todos los registros deberán estar disponibles para su revisión.

**8.4.11.3.2 Inspección.**

El cien por ciento de todas las soldaduras deberán ser examinadas visualmente para verificar la calidad de la mano de obra y el cumplimiento de los requisitos de fabricación por un inspector de soldadura calificado.

**8.4.11.3.2.1**

La colocación y la consistencia de las cuentas se documentarán, como mínimo, por medios digitales para su revisión por parte del personal supervisor.

**8.4.11.3.2.2**

Una vez enfriadas las soldaduras a temperatura ambiente, se deberán tomar disposiciones para realizar una prueba de penetración (PT) de al menos el 5 por ciento de cada tipo de soldadura cada día, sujeto a los siguientes requisitos:

* (1)

Los factores de selección incluirán la orientación, la dirección de soldadura y la complejidad de la soldadura que se realiza.

* (2)

Todos los perfiles y configuraciones de soldaduras deberán estar sujetos al requisito del 5 por ciento, y la selección de esta muestra del 5 por ciento deberá ser acordada entre el fabricante, el representante del cliente y la Autoridad competente.

* (3)

El estándar de aceptación para esta técnica de inspección deberá ser acordado por todas las partes.

* (4)

Cualquier indicación de una fuga requerirá un 5 por ciento PT adicional de la distancia total soldada por cada soldador.

**8.4.11.3.2.3**

La inspección una vez terminada la membrana deberá incluir una prueba de fugas en paralelo con una prueba de esfuerzo mecánico de la siguiente manera:

* (1)

El procedimiento de prueba de fugas deberá ser acordado por el fabricante y el cliente y aprobado.

* (2)

El gas trazador para la prueba de fugas deberá realizarse de acuerdo con un procedimiento aprobado.

* (3)

La prueba de esfuerzo mecánico de las juntas de soldadura se realizará aplicando tres ciclos desde presión atmosférica hasta 0,3 psi ( +20  mbar) dentro del espacio de aislamiento, con la presión mantenida, durante un tiempo mínimo de 30 minutos y se registrarán los datos.

* (4)

Todas las áreas donde ocurran fugas deberán repararse e inspeccionarse según [**8.4.11.3.2**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A001782) y el procedimiento del fabricante.

**8.4.11.3.3 Inspección posterior a la reparación.**

**8.4.11.3.3.1**

Se realizarán pruebas adicionales con gas trazador si se identifican más de cuatro fugas por cada 10 764 pies cuadrados ( 1000 m cuadrados ) de membrana.

**8.4.11.3.3.2**

Todas las áreas reparadas deberán ser inspeccionadas visualmente (VT), probadas con caja de vacío (VB) y probadas con líquido penetrante de tinte (PT).

**8.4.11.3.4 Prueba Global Final.**

La prueba de aceptación final de la estructura de membrana completada después de completar su instalación en la carcasa/contenedor exterior estructural deberá realizarse de acuerdo con el procedimiento de prueba aprobado y ser presenciada por todas las partes pertinentes y realizarse de la siguiente manera:

* (1)

La estanqueidad general de la membrana se determinará estableciendo una diferencia de presión entre el tanque y el espacio de aislamiento, que permita el flujo de gas a través de la membrana representativa de posibles fugas en la membrana.

* (2)

Las posibles fugas se caracterizarán midiendo el aumento del contenido de oxígeno en el espacio aislado primario a medida que el tanque se presuriza con aire seco.

* (3)

El espacio aislado primario deberá regularse por encima de la presión ambiente.

* (4)

Todos los datos de prueba, registros, documentación y registros de testigos se enviarán a todas las partes para su revisión y aceptación final.

**8.4.11.3.5 Control durante el retiro de equipos de construcción.**

**8.4.11.3.5.1**

Se deberá realizar una verificación y monitoreo diario de la hermeticidad durante el retiro de equipos de construcción, aplicando vacío dentro de los espacios aislados.

**8.4.11.3.5.2**

Cualquier aumento de presión que sea indicativo de una fuga se deberá informar y se deberán tomar medidas correctivas.

**8.4.12 Contenedores de hormigón.**

**8.4.12.1**

El diseño, la construcción, la inspección y las pruebas de los contenedores de hormigón deberán cumplir con la norma ACI 376, *Requisitos del código para el diseño y la construcción de estructuras de hormigón para la contención de gases licuados refrigerados* .

**8.4.12.2**

Un sistema de tanque con contención primaria de líquido de hormigón sin revestimiento deberá incluir un medio para detectar y eliminar la acumulación de líquido en el espacio anular.

**8.4.12.3**

Los recubrimientos no metálicos colocados sobre un contenedor de concreto que actúen como barrera contra la humedad y/o el vapor del producto deberán cumplir con los criterios de ACI 376, *Requisitos del código para el diseño y construcción de estructuras de concreto para la contención de gases licuados refrigerados* .

**8.4.12.4**

Las barreras metálicas incorporadas y que funcionen en conjunto con contenedores de concreto deberán ser de un metal definido en el Apéndice Q de la norma API Std 620, *Diseño y construcción de tanques de almacenamiento grandes, soldados y de baja presión* .

**8.4.13 Diseño sísmico de sistemas de tanques fabricados en campo en tierra.**

**8.4.13.1**

Se realizará una investigación específica del sitio para todas las instalaciones, excepto aquellas previstas en [**8.5.2**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000526) , para determinar las características del movimiento sísmico del suelo y los espectros de respuesta asociados.

**8.4.13.1.1**

La investigación específica del sitio realizada de acuerdo con ASCE 7, *Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras* , deberá tener en cuenta la sismicidad y geología regionales, las tasas de recurrencia esperadas y las magnitudes máximas de eventos en fallas conocidas y zonas fuente, la ubicación del sitio con respecto a estas fuentes sísmicas, los efectos de fuente cercana, si los hubiera, y las características de las condiciones del subsuelo.

**8.4.13.1.2**

Con base en la investigación específica del sitio, el movimiento del suelo de un sismo máximo considerado (MCE R ) será el movimiento que tenga una probabilidad de excedencia del 2 por ciento dentro de un período de 50 años ( es decir, un intervalo de recurrencia medio de 2475 años), ajustado por los requisitos de ASCE 7, *Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras* .

**8.4.13.1.3 Tsunamis máximos considerados.**

**8.4.13.1.3.1**

Los tsunamis máximos considerados (MCT R ) se basarán en una probabilidad de excedencia del 2 por ciento dentro de un período de 50 años (es decir, un intervalo de recurrencia medio de 2,475 años), ajustado por los requisitos de ASCE 7, *Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras* .

**8.4.13.1.3.2**

La base del contenedor exterior de GNL deberá estar diseñada o protegida de otro modo contra los efectos de las olas del tsunami de acuerdo con los requisitos de ASCE 7, *Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras* .

**8.4.13.1.4**

Para el movimiento del suelo MCE R , se construirán espectros de respuesta de aceleración vertical y horizontal que cubran todo el rango de relaciones de amortiguamiento anticipadas y períodos naturales de vibración, incluido el período fundamental y la relación de amortiguamiento para el modo de vibración de chapoteo (convectivo) del GNL contenido.

**8.4.13.1.5**

La aceleración espectral de respuesta MCE R para cualquier período, *T* , deberá corresponder a una relación de amortiguamiento que represente mejor la estructura que se está investigando como se especifica en el Apéndice L de API Std 620, *Diseño y construcción de tanques de almacenamiento grandes, soldados y de baja presión* , y ACI 376, *Requisitos del código para el diseño y la construcción de estructuras de hormigón para la contención de gases licuados refrigerados* .

**8.4.13.1.6 Espectro de respuesta vertical.**

**8.4.13.1.6.1**

Si no se dispone de información para desarrollar un espectro de respuesta vertical, las ordenadas del espectro de respuesta vertical no deberán ser inferiores a dos tercios de las del espectro horizontal.

**8.4.13.1.6.2**

Si se dispone de información, la proporción correspondiente no será inferior a la mitad.

**8.4.13.2**

Los sistemas de tanques de GNL y sus sistemas de almacenamiento deberán diseñarse para los tres niveles siguientes de movimiento sísmico del suelo:

* (1)

Terremoto de parada segura (SSE) según se define en [**8.4.13.3**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000462)

* (2)

Terremoto de base operativa (OBE) según se define en [**8.4.13.4**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000463)

* (3)

Terremoto de nivel de réplica (ALE) según se define en [**8.4.13.5**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000464)

**8.4.13.3**

La SSE se representará mediante un espectro de respuesta del movimiento del suelo en el que la aceleración espectral en cualquier período, *T,* será igual a la aceleración espectral del movimiento del suelo MCE R definido en [**8.4.13.1**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000452) .

[**8.4.13.4\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/8#ID00059A001625)

El movimiento del terreno OBE será el movimiento representado por un espectro de respuesta de aceleración que tenga una probabilidad de excedencia del 10 por ciento dentro de un período de 50 años ( es decir, un intervalo de retorno medio de 475 años) que represente la respuesta máxima en el plano horizontal.

**8.4.13.4.1**

Si se realiza un análisis específico del sitio, los espectros OBE específicos del sitio representarán la respuesta máxima.

**8.4.13.4.2**

Los espectros OBE específicos del sitio no deben ser inferiores al 80 por ciento de los espectros del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) o equivalentes, ajustados a las condiciones locales del sitio y escalados a la respuesta máxima de acuerdo con el Capítulo 21.2 de ASCE 7, *Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras* .

**8.4.13.5**

El movimiento del terreno ALE se definirá como la mitad del SSE.

**8.4.13.6**

Los tres niveles de movimiento del suelo definidos en [**8.4.13.3**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000462) a [**8.4.13.5**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000464) se utilizarán para el diseño resistente a terremotos de las siguientes estructuras y sistemas:

* (1)

Sistemas de tanques de GNL y sus sistemas de almacenamiento

* (2)

Componentes del sistema necesarios para aislar el sistema de tanque de GNL y mantenerlo en una condición de apagado seguro

* (3)

Estructuras o sistemas, incluidos los sistemas de protección contra incendios, cuyo fallo podría afectar la integridad de [**8.4.13.6(1)**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000466) o [**8.4.13.6(2)**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000467)

**8.4.13.6.1**

Las estructuras y sistemas deberán estar diseñados para permanecer operativos durante y después de una OBE.

**8.4.13.6.2**

El diseño del OBE se basará en un factor de reducción de respuesta igual a 1,0.

**8.4.13.6.3**

El diseño del SSE deberá evitar la pérdida de la capacidad de contención del contenedor primario de los sistemas de tanque de contención simple, doble y completo, y de la barrera metálica líquida de los sistemas de tanque de membrana .

**8.4.13.6.4**

Será posible aislar y mantener los sistemas de tanques de GNL durante y después del SSE.

**8.4.13.6.5 Factores de reducción de respuesta.**

**8.4.13.6.5.1**

Cuando se utilicen, se deberá demostrar que los factores de reducción de respuesta aplicados en el diseño del SSE no reducen los criterios de desempeño del [**apartado 8.4.13.6.3**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000471) .

**8.4.13.6.5.2**

Los valores del Apéndice L de la norma API Std 620, *Diseño y construcción de tanques de almacenamiento grandes, soldados y de baja presión* , se considerarán compatibles para los contenedores de acero de los sistemas de tanques .

**8.4.13.6.5.3**

Los valores de la Sección 8 de ACI 376, *Requisitos del código para el diseño y construcción de estructuras de hormigón para la contención de gases licuados refrigerados* , se considerarán compatibles para los contenedores de hormigón del sistema de tanque.

**8.4.13.7**

El contenedor de líquido secundario o sistema de almacenamiento para tanques de contención simple, doble o completa deberá , como mínimo, estar diseñado para soportar un SSE mientras esté vacío y un ALE mientras contenga un volumen equivalente al líquido de contención primario al nivel operativo normal máximo según se define en la norma API Std 625, *Sistemas de tanques para almacenamiento de gas licuado refrigerado* .

**8.4.13.8 Sistema de tanque de membrana.**

**8.4.13.8.1**

Para el sistema de tanque de membrana, todos los componentes de la estructura que contiene el producto, incluida la barrera de líquido, el sistema de aislamiento, el sistema de protección térmica de las esquinas *(ver*[***8.4.15.1***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A001805)*)* cuando sea necesario, y el contenedor exterior de concreto, deberán estar diseñados para soportar sin pérdida de función un evento de SSE con el tanque lleno hasta el nivel operativo normal máximo.

**8.4.13.8.2**

El contenedor exterior de hormigón y la protección térmica de las esquinas deberán estar diseñados para soportar un ALE con el tanque lleno hasta el nivel operativo normal máximo, suponiendo que la membrana haya fallado y que la pared del contenedor exterior de hormigón y el sistema de protección térmica de las esquinas estén expuestos al GNL.

**8.4.13.9**

Un sistema de tanque de GNL deberá diseñarse para OBE, SSE y ALE de acuerdo con API Std 620, *Diseño y construcción de tanques de almacenamiento grandes, soldados y de baja presión* , y ACI 376, *Requisitos del código para el diseño y la construcción de estructuras de hormigón para la contención de gases licuados refrigerados* .

**8.4.13.10**

Después de un evento que exceda el OBE, se deberá evaluar el sistema de tanque para garantizar que siga funcionando de manera segura.

**8.4.13.11**

Después de un evento SSE, el contenedor deberá vaciarse e inspeccionarse antes de reanudar las operaciones de llenado del contenedor.

**8.4.13.12**

El diseño de los sistemas de tanques de GNL y los componentes estructurales deberá realizarse de acuerdo con la norma API Std 620, *Diseño y construcción de tanques de almacenamiento grandes, soldados y de baja presión* , o con ACI 376, *Requisitos del código para el diseño y la construcción de estructuras de hormigón para la contención de gases licuados refrigerados* .

**8.4.13.12.1**

La interacción suelo-estructura (SSI) se incluirá cuando el sistema de tanque no esté fundado sobre lecho de roca (clase de sitio A o B según ASCE 7, *Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras* ).

**8.4.13.12.2**

Se permitirá que el SSI se realice de acuerdo con los requisitos de ASCE 7, *Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras* .

**8.4.13.12.3**

Las reducciones en las cargas de diseño sísmico debido a los efectos SSI no deben exceder las permitidas por ASCE 7, *Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras* .

**8.4.13.13**

El análisis y diseño del contenedor exterior de concreto para el evento de fuga y fuga más ALE deberá tomar en cuenta cualquier daño que pudiera haber ocurrido al contenedor exterior de concreto debido a eventos anteriores, incluyendo el terremoto SSE.

**8.4.13.13.1**

El contenedor exterior de hormigón se considerará intacto durante el evento SSE anterior si se cumplen las siguientes condiciones:

* (1)

Las tensiones de tracción en el acero de refuerzo no superan el 90 por ciento del límite elástico del acero de refuerzo.

* (2)

Las tensiones de compresión máximas del hormigón no superan el 85 por ciento de la resistencia a la compresión de diseño del hormigón.

**8.4.13.13.2**

Si no se cumplen las condiciones del [**apartado 8.4.13.13.1**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A001801) , en el análisis del derrame se tendrá en cuenta el daño previo.

**8.4.13.14**

Se deberá disponer en el sitio de instrumentación capaz de medir el movimiento del terreno al que están sometidos los sistemas de tanques.

**8.4.14 Pruebas de contenedores de GNL.**

**8.4.14.1**

El contenedor primario de GNL se deberá probar hidrostáticamente y detectar fugas de acuerdo con el código o norma de construcción vigente y se deberán reparar todas las fugas.

**8.4.14.2**

El diseñador del sistema de tanque deberá proporcionar un procedimiento de prueba basado en la norma de construcción aplicable.

[**8.4.14.3\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/8#ID00059A001792)

Los sistemas de tanques de contención de membrana se deben probar de acuerdo con la norma BS EN 14620, *Diseño y fabricación de tanques de acero cilíndricos, verticales, de fondo plano y construidos en el sitio para el almacenamiento de gases licuados refrigerados con temperaturas de funcionamiento entre 0 °C y -165 °C* , Parte 5, Tabla 1, de la siguiente manera:

* (1)

Se deberá realizar la prueba de fugas, tal como se define en la Nota de la norma BS EN 14620, Parte 5, párrafo 4.1.1.

* (2)

Las fugas a través de la membrana hacia el espacio de aislamiento durante el servicio se deben controlar para mantener un nivel de concentración de gas por debajo del 30 por ciento del límite explosivo inferior (LEL) barriendo el espacio aislado con un gas inerte.

* (3)

Si la concentración de gas no puede mantenerse por debajo del 30 por ciento del LEL, el tanque deberá ser desmantelado y probado nuevamente.

* (4)

A los efectos de evaluar el nivel del 30 por ciento, el flujo de gas de purga dentro del espacio anular no deberá incrementarse por encima de la tasa operativa normal.

**8.4.14.4**

Se realizará la verificación de todos los componentes del diseño del sistema de tanque de contención de membrana mediante datos experimentales provenientes de pruebas modelo.

**8.4.15 Requisitos adicionales para sistemas de tanques de contención de membrana .**

**8.4.15.1**

Se deberá proporcionar un sistema de protección térmica de esquinas funcionalmente equivalente al sistema de protección térmica de esquinas para contenedores de concreto, como se define en la Sección 6 de la norma API Std 625, *Sistemas de tanques para almacenamiento de gas licuado refrigerado* , y si lo requiere ACI 376, *Requisitos del código para el diseño y construcción de estructuras de concreto para la contención de gases licuados refrigerados* , para el contenedor de concreto externo del sistema de tanque de membrana donde la junta de losa de base a concreto no puede mantener la hermeticidad en condiciones de derrame.

**8.4.15.1.1 Protección térmica de esquinas.**

**8.4.15.1.1.1**

La protección térmica de las esquinas deberá proteger todo el fondo del contenedor exterior y al menos los 5 m (16,5 pies) inferiores de la pared para aislar térmicamente del líquido frío y brindar hermeticidad en la unión monolítica o fijada de la pared a la losa.

**8.4.15.1.1.2**

La protección térmica de las esquinas deberá ser hermética a los líquidos en donde esté en contacto con GNL.

**8.4.15.1.2**

Se permitirá que el sistema de protección térmica de las esquinas sea metálico o esté hecho de materiales no metálicos compatibles con GNL y deberá mantener la integridad estructural y la estanqueidad a los líquidos bajo todas las cargas mecánicas y térmicas aplicables.

**8.4.15.1.3 Pruebas.**

**8.4.15.1.3.1**

El proveedor del sistema de tanque de contención de membrana deberá proporcionar pruebas presenciadas y verificadas independientemente por una agencia externa que demuestren claramente la hermeticidad de todo el sistema de protección térmica de las esquinas ante fugas de líquido en condiciones de derrame.

**8.4.15.1.3.2**

Las pruebas históricas serán aceptables siempre que los procesos de construcción y los materiales de construcción sean los mismos que los propuestos.

**8.4.15.1.4**

El examen no destructivo (END) realizado en la barrera secundaria y los criterios de aceptación del END deben garantizar que la hermeticidad proporcionada sea equivalente a la hermeticidad proporcionada por el sistema de protección térmica de esquinas metálicas del sistema de tanque de contención total .

**8.4.15.2**

El contenedor exterior de concreto del sistema de tanque de contención de membrana deberá cumplir con todos los requisitos de ACI 376, *Requisitos del Código para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto para la Contención de Gases Licuados Refrigerados* , para el contenedor secundario de concreto, incluidos los materiales, el diseño, la construcción, la inspección y las pruebas y los requisitos adicionales especificados en [**8.4.15.2.1**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A001811) a [**8.4.15.2.6**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A001819) .

**8.4.15.2.1 Presión del producto líquido.**

**8.4.15.2.1.1**

La presión del producto líquido será una carga de diseño para el recipiente exterior de hormigón.

**8.4.15.2.1.2**

Los factores de carga del estado límite último (ULS) de presión del producto líquido para condiciones de carga operativas y anormales deberán estar de acuerdo con la Tabla 7.2 de ACI 376, *Requisitos del código para el diseño y construcción de estructuras de hormigón para la contención de gases licuados refrigerados* .

**8.4.15.2.2 Muro de contenedor de hormigón.**

**8.4.15.2.2.1**

Se deberá verificar la fatiga de la pared exterior del contenedor de hormigón y de la unión losa con la pared, suponiendo un mínimo de cuatro ciclos completos de carga y descarga por semana durante la vida útil esperada del sistema de tanque.

**8.4.15.2.2.2**

Se aplicarán los criterios de desempeño del Apéndice C de ACI 376, *Requisitos del Código para el Diseño y Construcción de Estructuras de Hormigón para la Contención de Gases Licuados Refrigerados* .

**8.4.15.2.3**

La pared exterior del contenedor de hormigón deberá resistir la carga de impacto especificada sin perforaciones ni costras.

**8.4.15.2.3.1**

El espesor de la pared de hormigón deberá ser al menos 40 por ciento mayor que la profundidad de formación de costras calculada según la Sección 4.1.2.2 del Boletín CEB 187, *Estructuras de hormigón bajo impacto y carga impulsiva - Informe de síntesis* .

**8.4.15.2.3.2**

El espesor de la pared de hormigón deberá ser al menos 20 por ciento mayor que el espesor de perforación calculado según la Sección 4.1.1.1 del Boletín CEB 187, *Estructuras de hormigón bajo impacto y carga impulsiva - Informe de síntesis* .

**8.4.15.2.3.3**

El muro de hormigón deberá diseñarse de manera que se cumpla una de las siguientes condiciones:

* (1)

La distancia entre la cara exterior del contenedor de hormigón y el centroide de los tendones de preesforzado es mayor que la profundidad de penetración calculada según la Sección 4.1.2.1 del Boletín CEB 187, *Estructuras de hormigón bajo impacto y carga impulsiva - Informe de síntesis* , con los siguientes márgenes de incertidumbre:

* + (a)

20 por ciento más grueso que la profundidad de penetración donde *z* > 0,75

* + (b)

50 por ciento más grueso que la profundidad de penetración donde *z* ≤ 0,75

* (2)

El muro de hormigón está diseñado para poder resistir cargas operativas normales con cualquier tendón horizontal completamente ineficaz.

**8.4.15.2.3.4**

En el caso de muros de hormigón postensados ​​con un sistema de envoltura de alambre, el muro deberá estar diseñado para resistir cargas de operación normales y los alambres afectados por una carga de impacto específica se considerarán completamente ineficaces.

**8.4.15.2.3.5**

No se permitirá ningún desenrollado de los cables de postensado.

**8.4.15.2.4**

Como mínimo, el contenedor exterior de hormigón para el sistema de tanque de membrana deberá cumplir con las tolerancias de construcción especificadas en ACI 376, *Requisitos del código para el diseño y construcción de estructuras de hormigón para la contención de gases licuados refrigerados* .

**8.4.15.2.5**

Cuando los sistemas de membrana y aislamiento requieren tolerancias más estrictas, el ingeniero del tanque de membrana deberá especificar dichas tolerancias y el contratista del tanque deberá cumplirlas.

**8.4.15.2.6**

El contenedor exterior de hormigón se debe probar hidrostáticamente antes de la instalación de la membrana y el aislamiento siguiendo los requisitos de prueba hidrostática del contenedor primario de la norma API Std 625, *Sistemas de tanques para almacenamiento de gas licuado refrigerado* , Sección 10.

8.5 Contenedores ASME.

**8.5.1 Generalidades.**

**8.5.1.1**

Los contenedores ASME utilizados para el almacenamiento de GNL deberán ser cualquiera de los siguientes:

* (1)

De doble pared, con el contenedor interior que contiene el GNL rodeado por un aislamiento contenido en el contenedor exterior como se especifica en [**8.5.1.3**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000493) y [**8.5.1.4**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000497)

* (2)

De pared simple, si se diseña y fabrica de acuerdo con los criterios especificados en [**8.5.1.5**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A002210)

**8.5.1.2**

Se deberá evacuar o purgar el aislamiento.

**8.5.1.3**

El contenedor interior deberá ser de construcción soldada y de conformidad con la Sección VIII del *Código de Calderas y Recipientes a Presión* de ASME y deberá tener el sello de ASME y estar registrado en la Junta Nacional de Inspectores de Calderas y Recipientes a Presión u otras agencias que registren recipientes a presión.

**8.5.1.3.1**

Cuando se utiliza vacío con fines de aislamiento, la presión de diseño del contenedor interior será la suma de la presión de trabajo requerida (absoluta) y la carga hidrostática del GNL.

**8.5.1.3.2**

Cuando no se utiliza vacío como parte del aislamiento, la presión de diseño será la suma de la presión manométrica de trabajo requerida y la carga hidrostática del GNL.

**8.5.1.3.3**

El contenedor interior deberá estar diseñado para la combinación más crítica de carga resultante de la presión interna y la carga del líquido, la presión de aislamiento estática, la presión de aislamiento a medida que el contenedor se expande después de un período de servicio, la presión de purga y operación del espacio entre los contenedores interior y exterior, y las cargas sísmicas.

**8.5.1.3.4**

Los dispositivos de alivio del recipiente interno deberán dimensionarse de acuerdo con [**8.4.9.5**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000396) o con CGA S-1.3, *Normas de dispositivos de alivio de presión — Parte 3 — Contenedores de almacenamiento estacionarios para gases comprimidos* .

**8.5.1.4**

El contenedor exterior deberá ser de construcción soldada.

**8.5.1.4.1**

Se utilizarán los siguientes materiales:

* (1)

Cualquiera de los aceros al carbono de la Sección VIII, Parte UCS del *Código de Calderas y Recipientes a Presión de ASME a temperaturas iguales o superiores a la temperatura de uso mínima permitida en la Sección II, Parte D, Tabla 1A del Código de Calderas y Recipientes a Presión* de ASME

* (2)

Materiales con un punto de fusión inferior a 2000 °F (1093 °C) donde el contenedor está enterrado o amontonado

**8.5.1.4.2**

Cuando se utilice vacío con fines de aislamiento, el contenedor exterior deberá estar diseñado de acuerdo con cualquiera de los siguientes criterios:

* (1)

Sección VIII, Partes UG-28, UG-29, UG-30 y UG-33 del *Código de Calderas y Recipientes a Presión* de ASME , utilizando una presión externa de no menos de 15 psi (103 kPa)

* (2)

Párrafo 3.6.2 de CGA 341, *Norma para la especificación de tanques de carga aislados para líquidos criogénicos*

**8.5.1.4.3**

Las cabezas y los recipientes exteriores esféricos que se forman en segmentos y se ensamblan mediante soldadura se deben diseñar de acuerdo con la Sección VIII, Partes UG-28, UG-29, UG-30 y UG-33 del *Código de Calderas y Recipientes a Presión* de ASME , utilizando una presión externa de 15 psi (103 kPa).

**8.5.1.4.4**

Se deberá especificar la presión de trabajo máxima admisible para todos los componentes.

**8.5.1.4.5**

El contenedor exterior deberá estar equipado con un dispositivo de alivio u otro dispositivo para liberar la presión interna, como se indica a continuación:

* (1)

El área de descarga deberá ser al menos 0,00024 pulg. 2 /lb (0,34 mm 2 /kg) de la capacidad de agua del recipiente interior, pero el área de cualquier dispositivo individual no deberá exceder 300 pulg. 2 (0,2 m 2 ).

* (2)

El dispositivo de alivio deberá funcionar a una presión que no exceda la presión de diseño interna del contenedor exterior, la presión de diseño externa del contenedor interior o 25 psi (172 kPa), lo que sea menor.

**8.5.1.4.6**

Se deberán proporcionar barreras térmicas para evitar que el contenedor exterior caiga por debajo de su temperatura de diseño.

**8.5.1.4.7**

Las sillas y las patas deberán estar diseñadas para soportar cargas previstas durante el envío y la instalación, así como cargas sísmicas, de viento y térmicas.

**8.5.1.4.8**

Los cimientos y soportes deberán estar protegidos para tener una clasificación de resistencia al fuego de al menos 2 horas.

**8.5.1.4.9**

Si se utiliza aislamiento para lograr una clasificación de resistencia al fuego de al menos 2 horas, deberá ser resistente al desprendimiento por chorros de mangueras contra incendios.

**8.5.1.5**

El contenedor de pared simple deberá ser de construcción soldada y de conformidad con la Sección VIII, División 1 del *Código de Calderas y Recipientes a Presión* de ASME y deberá tener el sello de ASME y estar registrado en la Junta Nacional de Inspectores de Calderas y Recipientes a Presión u otras agencias que registren recipientes a presión.

**8.5.1.5.1 Construcción y material de contenedores de pared simple.**

**8.5.1.5.1.1**

El material deberá cumplir con *el Código de calderas y recipientes a presión ASME,* Sección II, SA553, Tipo I, sujeto al requisito suplementario adicional S56, pero con un valor de prueba de impacto mínimo de 66 ft·lbf (90 J).

**8.5.1.5.1.2**

El material deberá ser aprobado por un tercero para el tipo (composición química, resistencia al impacto, resistencia a la tracción, límite elástico, ductilidad, prueba de caída de peso), grado y dimensión del acero suministrado.

**8.5.1.5.2**

El espesor mínimo de la pared a lo largo del nivel máximo permitido de líquido del recipiente será el mayor de los siguientes:

* (1)

Un espesor de pared definido por una presión de diseño no menor que el ajuste máximo permitido de la válvula de alivio (MARVS)

* (2)

Un espesor de pared definido por una presión de líquido de diseño *P*eq en un recipiente lleno, resultante de la presión de vapor de diseño *P*0 y la presión del líquido según lo dado por la ecuación 8.5.1.5.2a

[8.5.1.5.2a]

Imagen del libro de códigos: ab24c3df-b99d-11ec-a9ce-ed6b11933ac5con

[8.5.1.5.2b]

Imagen del libro de códigos: ab8de5f5-b99d-11ec-a9ce-ed6b11933ac5

[8.5.1.5.2c]

Imagen del libro de códigos: aa403035-b99d-11ec-a9ce-ed6b11933ac5

dónde:

σ*metro*=

diseñotensión primaria de la membrana, que debe tomarse como la más pequeña deBσ *Β* /3,5 oσ*F*/1.5: σ*B*= resistencia mínima a la tracción especificada a temperatura ambiente (N/mm2F/1.5) o σ*F* = tensión mínima de fluencia superior especificada a temperatura ambiente (N/mm2)

σ*B*=

σ*F*=

Δσ*a*=

admisibletensión dinámica de la membrana (doble amplitud en el nivel de probabilidad 10 -8 )

=

55 N/mm 2 para aceros ferrítico-perlíticos, martensíticos y austeníticos

*do*=

característicadimensión del tanque, tomada como la mayor de las siguientes: *h* , 0,75· *b* o 0,45· *l*: *h*= altura de la cúpula exclusiva del tanque (m);*b*= ancho del tanque (m); *l*= longitud del tanque (m)

*h*=

*b*=

*yo*=

ρ=

máximogravedad específica de la carga

y

[8.5.1.5.2d]

Imagen del libro de códigos: aac6c55b-b99d-11ec-a9ce-ed6b11933ac5

dónde:

*z*=

verticaldistancia al nivel máximo de líquido (m)

*gramo*=

gravedad(m/ s2 )

ρ=

máximogravedad específica de la carga

* (3)

Un espesor de pared mínimo de 0,65 pulgadas (16,51 mm) en el nivel de líquido máximo permitido

**8.5.1.5.3**

El contenedor deberá estar equipado con un dispositivo de alivio u otro dispositivo para liberar la presión interna, como se indica a continuación:

* (1)

El área de descarga deberá ser al menos 0,00024 pulg. 2 /lb (0,34 mm 2 /kg) de la capacidad de agua del contenedor, pero el área de cualquier dispositivo individual no deberá exceder 300 pulg. 2 (0,2 m 2 ).

* (2)

El dispositivo de alivio deberá funcionar a una presión que no exceda la presión de diseño interna del contenedor exterior, la presión de diseño externa del contenedor interior o 25 psi (172 kPa), lo que sea menor.

**8.5.1.5.4**

Las sillas y las patas deberán estar diseñadas para soportar cargas previstas durante el envío y la instalación, así como cargas sísmicas, de viento y térmicas.

**8.5.1.5.5**

Los cimientos y soportes deberán estar protegidos para tener una clasificación de resistencia al fuego de al menos 2 horas.

**8.5.1.5.6**

Si se utiliza aislamiento para lograr una clasificación de resistencia al fuego de al menos 2 horas, deberá ser resistente al desprendimiento por chorros de mangueras contra incendios.

**8.5.1.5.7**

Todas las penetraciones del contenedor deberán estar ubicadas por encima del nivel máximo de líquido permitido.

**8.5.1.5.8**

La cantidad mínima de pruebas no destructivas y pruebas de producción de soldadura que se deben realizar será específicamente la siguiente:

* (1)

Se requerirá una radiografía del cien por ciento para todas las soldaduras a tope, o se aceptarán pruebas ultrasónicas automáticas (AUT) como reemplazo de las pruebas radiográficas, como se define en *el Código de calderas y recipientes a presión ASME,* Sección VIII, División 2, 7.5.5.

* (2)

Se realizarán las siguientes pruebas de producción de soldadura adicionales por cada 164 pies (50 m) de juntas soldadas a tope:

* + (a)

Prueba de impacto Charpy de acuerdo con UG-84 dentro *del Código de calderas y recipientes a presión* ASME , Sección VIII, División 1

* + (b)

Ensayos de tracción de soldadura transversal de acuerdo con QW-150 del *Código de Calderas y Recipientes a Presión ASME,* Sección IX

* + (do)

Prueba de flexión guiada transversal de acuerdo con QW-160 dentro *del Código de calderas y recipientes a presión ASME,* Sección IX

* (3)

Se requerirán pruebas de flexión longitudinal en lugar de pruebas de flexión transversal en los casos en que el material base y el material de soldadura tengan diferentes niveles de resistencia.

**8.5.1.5.9 Embalse.**

**8.5.1.5.9.1**

El capítulo  [**13**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/13) no se aplicará a la hora de determinar los requisitos de depósito.

**8.5.1.5.9.2**

Se realizará una evaluación de riesgos según el Capítulo  [**19**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19) para definir el riesgo externo específico del sitio e identificar los requisitos para aumentar el espesor mínimo de las paredes o el embalse para la ubicación de la planta.

**8.5.1.5.9.3**

La evaluación de riesgos externos deberá evaluar las cargas de impacto específicas de los misiles transportados por el viento y los fragmentos de explosiones accidentales como se especifica en la Sección  [**13.6**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/13#ID00059A000159) .

**8.5.1.6**

Las concentraciones de tensión del sistema de soporte se minimizarán mediante el uso de elementos como almohadillas y anillos de carga.

**8.5.1.7**

La expansión y contracción del contenedor interior se incluirán en los cálculos de tensión, y el sistema de soporte se diseñará de manera que las tensiones resultantes impartidas a los contenedores interior y exterior estén dentro de los límites permitidos.

**8.5.1.8**

Las tuberías internas entre el contenedor interior y el contenedor exterior y dentro del espacio de aislamiento deberán diseñarse para la presión de trabajo máxima admisible (MAWP) del contenedor interior, teniendo en cuenta las tensiones térmicas.

**8.5.1.8.1**

No se permitirán fuelles dentro del espacio de aislamiento.

**8.5.1.8.2**

Las tuberías deberán estar fabricadas con materiales satisfactorios para -278 °F (-172 °C) según lo determina el *Código de calderas y recipientes a presión* ASME .

**8.5.1.8.3**

Ninguna línea de líquido externa al contenedor exterior deberá ser de aluminio, cobre o aleación de cobre, a menos que esté protegida contra una exposición al fuego de 2 horas.

**8.5.1.8.4**

No se prohibirán las juntas de transición.

**8.5.1.9**

El contenedor interior deberá estar sostenido concéntricamente dentro del contenedor exterior por un sistema metálico o no metálico que sea capaz de soportar la carga máxima de cualquiera de los siguientes:

* (1)

Los soportes de carga de envío deberán diseñarse para la aceleración máxima que se encontrará, multiplicada por la masa vacía del contenedor interior.

* (2)

Los soportes de carga operativa deberán diseñarse para la masa total del contenedor interior más la carga máxima, que deberá incluir lo siguiente:

* + (a)

Se incluirán factores sísmicos.

* + (b)

La masa del líquido contenido se basará en la densidad máxima del líquido especificado dentro del rango de temperaturas de operación, excepto que la densidad mínima será 29,3 lb/ft3 ( 470 kg/ m3 ).

**8.5.1.10**

La tensión de diseño admisible en los elementos de soporte deberá ser la menor de un tercio de la resistencia a la tracción mínima especificada o cinco octavos de la resistencia al rendimiento mínima especificada a temperatura ambiente.

**8.5.1.11**

Cuando se utilicen elementos roscados, se deberá utilizar el área mínima en la raíz de las roscas.

**8.5.1.12**

Las tuberías que forman parte de un contenedor de GNL ASME, incluidas las tuberías entre los contenedores interior y exterior, deberán cumplir con la Sección VIII del *Código de calderas y recipientes a presión* ASME o con la norma ASME B31.3, *Tuberías de proceso.*

**8.5.1.13**

El cumplimiento de las tuberías que forman parte del contenedor ASME se deberá indicar o adjuntar al Apéndice W, Formulario U-1, “Informe de datos del fabricante para recipientes a presión”, del *Código de calderas y recipientes a presión* ASME .

**8.5.2 Diseño sísmico de contenedores ASME construidos en taller en tierra.**

**8.5.2.1**

Los contenedores construidos en taller diseñados y construidos de acuerdo con el *Código de calderas y recipientes a presión* ASME y su sistema de soporte deberán diseñarse para las fuerzas dinámicas asociadas con las aceleraciones horizontales y verticales de la siguiente manera:

Para la fuerza horizontal, *V* :

[8.5.2.1a]

Imagen del libro de códigos: ac738b13-b99d-11ec-a9ce-ed6b11933ac5

Para la fuerza vertical de diseño, *P* :

[8.5.2.1b]

Imagen del libro de códigos: ac537ff1-b99d-11ec-a9ce-ed6b11933ac5

dónde:

*Z c*=

coeficiente sísmico igual a 0,60 *S DS* , donde *S DS* es la aceleración espectral de diseño máxima determinada de acuerdo con las disposiciones de ASCE 7, *Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras* , utilizando un factor de importancia, *I* , de 1,0, para la clase de sitio más representativa de las condiciones del subsuelo donde se ubica la instalación de GNL

*O*=

peso total del contenedor y su contenido

**8.5.2.1.1**

Este método de diseño se utilizará únicamente cuando el período natural, *T* , del contenedor construido en taller y su sistema de soporte sea inferior a 0,06 segundos.

**8.5.2.1.2**

Para períodos de vibración superiores a 0,06 segundos, se seguirá el método de diseño del [**apartado 8.4.13 .**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000451)

**8.5.2.2**

El contenedor y sus soportes deberán diseñarse para las fuerzas sísmicas resultantes en combinación con las cargas operativas, utilizando el aumento de tensión admisible que se muestra en el código o norma utilizada para diseñar el contenedor o sus soportes.

**8.5.2.3**

Los requisitos de [**8.5.2**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000526) se aplicarán a los contenedores ASME construidos antes del 1 de julio de 1996, cuando se reinstalen.

**8.5.2.4**

Se deberá disponer en el sitio de la obra instrumentación capaz de medir el movimiento del terreno a que están sometidos los contenedores.

**8.5.3 Volumen de llenado.**

Los contenedores diseñados para operar a una presión superior a 15 psi (103 kPa) deberán estar equipados con uno o más dispositivos que eviten que el contenedor se llene de líquido o que cubra la entrada del o los dispositivos de alivio con líquido cuando la presión en el contenedor alcance la presión establecida del o los dispositivos de alivio en todas las condiciones.

**8.5.4 Pruebas de contenedores de GNL ASME.**

**8.5.4.1**

Los contenedores ASME diseñados para presiones manométricas superiores a 15 psi (103 kPa) se deberán probar de acuerdo con lo siguiente:

* (1)

Los contenedores fabricados en taller deberán ser sometidos a pruebas de presión por el fabricante antes de su envío al sitio de instalación.

* (2)

El contenedor interior deberá probarse de acuerdo con el *Código de calderas y recipientes a presión ASME o con el Código de calderas, recipientes a presión y tuberías a presión* CSA B51 .

* (3)

El recipiente exterior deberá ser sometido a una prueba de estanqueidad.

* (4)

Las tuberías se probarán de acuerdo con la Sección  [**10.8**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/10#ID00059A000699) .

* (5)

Los contenedores y las tuberías asociadas deberán someterse a pruebas de fugas antes de llenar el contenedor con GNL.

**8.5.4.2**

El contenedor interior de los contenedores fabricados en campo diseñados para presiones manométricas superiores a 15 psi (103 kPa) se deberá probar de acuerdo con el *Código de calderas y recipientes a presión* ASME o CSA B51, *Código de calderas, recipientes a presión y tuberías a presión* .

**8.5.4.3**

El contenedor exterior de los contenedores fabricados en campo diseñados para presiones manométricas superiores a 15 psi (103 kPa) se deberá probar de acuerdo con el *Código de calderas y recipientes a presión* ASME o CSA B51, *Código de calderas, recipientes a presión y tuberías a presión* .

**8.5.5 Envío de contenedores de GNL.**

Los contenedores deberán transportarse bajo una presión interna mínima de 10 psi (69 kPa) de gas inerte.

Tablas del Capítulo 8: Almacenamiento estacionario de GNL

|  |  |
| --- | --- |
| **Tabla 8.4.9.7.1 Factores ambientales** | |
| **Base** | **Factor*F*** |
| Contenedor base | 1.0 |
| Instalaciones de aplicación de agua | 1.0 |
| Instalaciones de despresurización y vaciado | 1.0 |
| contenedor subterráneo | 0 |
| Aislamiento o protección térmica\* Unidades habituales de EE. UU. | Imagen del libro de códigos: acc04b86-b99d-11ec-a9ce-ed6b11933ac5 |
| Unidades del SI | Imagen del libro de códigos: a9a74b8f-b99d-11ec-a9ce-ed6b11933ac5 |
| \* *U* = coeficiente de transferencia de calor general Btu/(hr · ft 2 ·°F) [W/(m 2 ·°C)] del sistema de aislamiento utilizando el valor medio para el rango de temperatura de *T f* a +1660 °F (904 °C); *T f* = temperatura del contenido del recipiente en condiciones de alivio, °F (°C). | |

[Ver en publicación](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000417)