Anexo B — Diseño sísmico de plantas de GNL

*Este anexo no es parte de los requisitos de este documento NFPA, pero se incluye sólo con fines informativos.*

B.1 Introducción.

El propósito del Anexo B es proporcionar información sobre la selección y el uso de los niveles sísmicos de sismo de base operativa (OBE), sismo de parada segura (SSE) y sismo de nivel de réplica (ALE). Estos tres niveles sísmicos forman parte de los requisitos de esta norma para el diseño de contenedores de GNL, los componentes del sistema necesarios para aislar el contenedor y mantenerlo en condiciones de parada segura, y cualquier estructura o sistema cuyo fallo pueda afectar la integridad de los mismos.

B.2 Terremoto de Base Operacional (OBE).

El OBE es un sismo probable al que una instalación puede estar sujeta durante su vida útil. Todos los elementos de la instalación, definidos en el [**apartado 8.4.13.6**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000465) , están diseñados para resistir este evento de acuerdo con los procedimientos y criterios de ingeniería convencionales, por lo que se espera que la instalación permanezca en funcionamiento.

El OBE se define como un movimiento del terreno con una probabilidad de excedencia del 10 % en un período de 50 años (intervalo de retorno medio de 475 años). Para el diseño, este movimiento se representa típicamente mediante espectros de respuesta de diseño que cubren los rangos adecuados de período natural y coeficiente de amortiguamiento. El espectro de respuesta de diseño del OBE no se ajusta por un factor de importancia. Tras cualquier evento con una magnitud superior al OBE, se espera que la instalación sea evaluada para detectar daños permanentes y se repare según sea necesario.

B.3 Terremoto de parada segura (SSE).

**B.3.1**

El movimiento del suelo SSE es el “ movimiento del suelo de terremoto considerado máximo ajustado al riesgo (MCE R*)”, según la definición en ASCE 7, Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras* . Para la mayoría de las ubicaciones, excepto posiblemente aquellas cercanas a fallas activas, el MCE R se determina mediante el ajuste del movimiento del suelo que tiene una probabilidad de excedencia del 2 por ciento en un período de 50 años al movimiento del suelo que logra los requisitos de riesgo objetivo. El ajuste de ASCE 7 establece un criterio uniforme de probabilidad de falla (1 por ciento de probabilidad de colapso en 50 años) para estructuras diseñadas de acuerdo con las disposiciones sísmicas de ASCE 7. En NFPA 59A, la planta de GNL está diseñada para contener el GNL y prevenir fallas catastróficas de instalaciones críticas bajo un evento SSE. Este criterio de rendimiento más oneroso se logra a través de los requisitos de diseño de API Std 625, *Sistemas de tanques para almacenamiento de gas licuado refrigerado* ; Apéndice L de la norma 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 construcción de estructuras de hormigón para la contención de gases licuados refrigerados* , que contienen factores de reducción de respuesta establecidos para evitar el colapso en el nivel de diseño del movimiento del suelo.

La norma ASCE 7 exige que el nivel de diseño base para un sismo sea dos tercios del MCE R. Al establecer el factor de importancia, I, en 1,5 (correspondiente a estructuras que contienen materiales extrapeligrosos), se obtiene un nivel de diseño igual al MCE R. Por lo tanto, SSE = MCE R , como exige esta norma, es coherente con las disposiciones de la ASCE 7 para el nivel de diseño para el movimiento del terreno. El diseño de instalaciones críticas según esta norma supera los requisitos de rendimiento de diseño de la ASCE 7. No se exige que la instalación de GNL permanezca operativa tras el evento SSE.

**B.3.2**

El objetivo de la selección y el uso del SSE es proporcionar un nivel mínimo de seguridad pública en caso de un evento sísmico de muy baja probabilidad. Se reconoce que el nivel de probabilidad requerido para lograr una seguridad pública aceptable varía según el proyecto, dependiendo de factores como la ubicación y la densidad de población. Es conveniente brindar al propietario flexibilidad para lograr el nivel requerido de seguridad pública.

**B.3.3**

El nivel SSE de carga sísmica se debe utilizar para una verificación del estado límite en los componentes especificados. El SSE especificado es el nivel mínimo de movimiento del suelo que se debe utilizar para el análisis. El propietario debe especificar el nivel real y, cuando se utiliza junto con otras consideraciones, como la ubicación, el emplazamiento, el tipo de sistema de embalse, el control de riesgos, las condiciones climáticas locales y las características físicas, debe ser suficiente para garantizar una seguridad pública adecuada a satisfacción de las autoridades reguladoras. Se recomienda un estudio de análisis de riesgos. En el nivel SSE de carga sísmica, se permite que los componentes primarios del contenedor de GNL alcancen los límites de tensión especificados en 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* . Un contenedor de GNL sometido a este nivel de carga debe ser capaz de continuar conteniendo un volumen completo de GNL.

**B.3.4**

El sistema de embalse debe, como mínimo, estar diseñado para soportar el nivel de carga SSE en vacío (y en lleno si se trata de un sistema de tanque de contención de membrana ) y el nivel de carga ALE manteniendo el volumen *V* , según se especifica en [**8.4.13.7**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000473) . Esto se justifica porque, en caso de falla del contenedor de GNL tras un SSE, el sistema de embalse debe permanecer intacto y ser capaz de contener el contenido del contenedor al ser sometido a una réplica.

**B.3.5**

Los sistemas o componentes cuya falla podría afectar la integridad del contenedor de GNL, el sistema de almacenamiento o los componentes del sistema necesarios para aislar el contenedor de GNL y mantenerlo en una condición de apagado seguro, deben estar diseñados para soportar un SSE.

**B.3.6**

El operador debe instalar instrumentación capaz de medir el movimiento del terreno en la planta. Tras un sismo que produzca un movimiento del terreno igual o superior al movimiento del terreno OBE de diseño, es recomendable que el operador de la instalación retire de servicio el contenedor de GNL y lo inspeccione, o bien que compruebe que sus componentes no han estado sometidos a cargas que excedan el nivel de tensión OBE del contenedor y los criterios de diseño. Por ejemplo, si el contenedor de GNL estaba parcialmente lleno durante el sismo, los cálculos pueden demostrar que no se excedieron los niveles de tensión OBE del contenedor.

B.4 Terremoto de nivel de réplica.

El movimiento del suelo ALE se define como el 50 por ciento del movimiento del suelo SSE.

B.5 Espectros de respuesta de diseño.

Utilizando los movimientos del suelo OBE y SSE tal como se definen en la Sección  [**B.‍2**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/B#ID00059A001684) y [**B.‍3.1**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/B#ID00059A001686) , respectivamente, se deben construir espectros de respuesta de diseño verticales y horizontales 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.

B.6 Otras cargas sísmicas.

**B.6.1**

Las plantas pequeñas de GNL, compuestas por contenedores de GNL construidos en taller y equipos de procesamiento limitadores, deben diseñarse para cargas sísmicas utilizando el movimiento del terreno especificado en la norma ASCE 7, *Cargas Mínimas de Diseño y Criterios Asociados para Edificios y Otras Estructuras* . Se debe realizar un análisis de respuesta estructural o aplicar un factor de amplificación de 0,60 a la aceleración espectral máxima de diseño (SDS ) , según se define en la [**sección 8.5.2.1**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/8#ID00059A000527) , para determinar las cargas sobre los recipientes o las tuberías.

**B.6.2**

Todas las demás estructuras, edificios y equipos de proceso deben estar diseñados para la carga sísmica según lo determine la clasificación y la categoría de riesgo de acuerdo con las Secciones [**12.1**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/12#ID00059A000248) y [**12.2**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/12#ID00059A000252) y ASCE 7, *Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras* .