

Designing a Foundation for an LNG Tank

Q. I'm designing a pile foundation to support a liquefied natural gas (LNG) tank (Full Containment Steel tank as per API STD 625:2021-09¹), and I have several questions concerning my design and provisions provided in ACI 376-11²:

1. Per Section 1.1, the Code requirement is applicable for designing concrete structures for storage of refrigerated liquefied gases (RLG) with service temperatures between +4 and -200°C (+40 and -325°F). Section 4.7.2(a) lists the maximum stresses of 83, 70, and 55 MPa (12,000, 10,000, and 8000 psi) for ASTM A615 Grade 60 reinforcement, as per NFPA 59A-09, ³ at service temperatures below -18°C (0°F) to maintain ductility and toughness. It means that the effects of the -18 and -200°C temperatures are the same. What's the basis of the maximum stress limitation with respect to the temperature change?

2. Commentary Section R4.7.1 references NFPA 59A for these values of stress limitations without any technical details or justifications. Can you clarify it, as the data for yield stress limitation was deleted in the latest version of NFPA 59A⁴?

3. Why doesn't the Code specify the requirements and the acceptance criteria for the steel material impact testing?

4. An article titled "Reinforcing Materials at Cold Temperatures"⁵ discusses an investigation of the behavior of ASTM A706 and ASTM A615 reinforcing steels at temperatures ranging from +20 to -60°C (68 to -76°F) performed to assist in developing guidelines for structures in cold regions. The paper discusses the effect of temperature on yield strength and increases in both yield strength and ultimate strength ranging between 5 and 11% at -40 or -60°C (-40 or -76°F) when compared to those at 20°C, with either no change or a decrease in ductility as temperature decreases from +20 to -60°C.

Another article titled "Effects of Cold Temperature and Strain Rate on the Stress-Strain Behavior of ASTM A706 Grade 420(60) Steel Reinforcement"⁶ discusses an investigation of the behavior of ASTM A706 reinforcing steel at temperatures ranging from +20 to -40°C. The paper concluded that the ductility of the reinforcing bars will not be affected by the coldest temperature, and the stress-strain curves at +20, -20 (-4°F), and -40°C are very close to the same.

Can these studies be considered the bases for reevaluating the ASTM A706 reinforcing steel for the LNG product for temperatures as low as -40°C?

5. Can other materials (for example, glass fiber-reinforced polymer [GFRP] bars) be used instead of steel or stainless-steel reinforcing bars?

A. 1 and 2: NFPA 59A adopts the ACI 376 requirements by reference, and this makes the foundation provisions mandatory for API 625 tanks except as noted. ACI CODE-376-23⁷ eliminated the 0°F (-18°C) threshold for cold temperature requirements and changed it to "required for product containment" (Commentary Section R4.7.1.2(b)). The design basis has no temperature restrictions but must meet the specified or required building code provisions. The requirements are also applicable to product temperatures above 0°F. For colder product temperatures, the more restrictive requirements in ACI 376-11 are the basis for design.

First, you need to determine whether a foundation for an API 625 tank is "required for product containment" during a major spill. Generally, the answer is no, unless the foundation is part of a secondary containment system. Note that the effects of a minor spill such as a pipe leak are dealt with by shielding and drainage.

The range of product temperatures in ACI 376-11, Section 1.1, is a statement of the range of RLG in the scope of the Code (for example, liquid butane and propane to liquid oxygen and nitrogen) and is not intended to correlate to Section 4.7.2(a). The provisions of Section 4.7.2(a) are a legacy from NFPA 59A (for LNG) that are based on the principles that carbon steel reinforcing bars at cryogenic temperatures: a) will have strength at least equal to ambient temperature yield strength; and b) will not rupture at low stress levels that are compatible with the failure strain decrease with temperature. The practical use of the allowable stresses in Section 4.7.2(b) has been the

Questions in this column were asked by users of ACI documents and have been answered by ACI staff or by a member or members of ACI technical committees. The answers do not represent the official position of an ACI committee. Comments should be sent to keith.tosolt@concrete.org.

design of tension reinforcement in concrete bearing pads exposed to LNG temperatures that distribute the concentrated shell loads of an inner steel tank to the supporting foam glass insulation. Section 4.7.2(b) can be used for reinforcement in other containment elements, but designs based on other provisions of Section 4.7.2 are likely better solutions.

A. 3: If you refer to Charpy V-notch requirements, the test is not considered applicable to reinforcing bars in concrete regardless of temperature. The reason is that the loading rate for Charpy V-notch testing is an impact loading that is orders of magnitude higher than the loading rate from operation and environmental loads or ordinary tensile testing. Explosions and large impact forces, such as from aircraft collisions, require special consideration beyond the scope of ACI 376. For impact loading, dynamic tensile testing of reinforcing bars should be the basis for design because it represents the behavior under impact loading of a reinforced concrete section.

A. 4: The cited peer-reviewed papers discuss a temperature range not often studied in cold temperature tests on reinforcing bars for LNG service at -260°F (-160°C).

A. 5: Use of an alternative such as GFRP reinforcement to replace carbon and stainless-steel reinforcement can be studied, but this material is unlikely to have the strain capacity needed for mechanical loads plus self-straining forces at cold temperatures. The Notch Sensitivity Ratio discussed in the last paragraph of ACI 376-11, Commentary Section R4.7.2, could be used as the basis for evaluating the suitability of other reinforcement when it functions as “required for product containment.”

Note: Additional information on the ASTM standards discussed in this article can be found at www.astm.org.

References

1. API STD 625:2021-09, “Tank Systems for Refrigerated Liquefied Gas Storage,” American Petroleum Institute, Washington, DC, 2021, 91 pp.
2. ACI Committee 376, “Code Requirements for Design and Construction of Concrete Structures for the Containment of Refrigerated Liquefied Gases (ACI 376-11) and Commentary,” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2013, 149 pp.
3. NFPA 59A-09, “Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas (LNG),” National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2009, 73 pp.
4. NFPA 59A-23, “Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas (LNG),” National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2023, 62 pp.
5. Riddell, W.T.; Cleary, D.B.; Lomboy, G.R.; Abubakri, S.; Kennedy, D.; and Watts, B., “Reinforcing Materials at Cold Temperatures,” The 2021 World Congress on Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM21), Seoul, South Korea, Aug. 23-26, 2021, 17 pp.
6. Levings, J., and Sritharan, S., “Effects of Cold Temperature and Strain Rate on the Stress-Strain Behavior of ASTM A706 Grade 420(60) Steel Reinforcement,” *Journal of Materials in Civil Engineering*, V. 24, No. 12, Dec. 2012, pp. 1441-1449.
7. ACI Committee 376, “Refrigerated Liquefied Gas Containment for Concrete Structures—Code Requirements and Commentary (ACI CODE-376-23),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2023, 177 pp.

Thanks to members of ACI Committee 376, Concrete Structures for Refrigerated Liquefied Gas Containment, for helping with answers to these questions.



Students— the next step has never been easier



- ✓ Find internships
- ✓ Browse jobs
- ✓ Post your résumé
- ✓ Résumé writing assistance
- ✓ Career coaching
- ✓ Career learning center
- ✓ Reference checking

Follow @ACICareerCenter

www.concrete.org/careercenter

Diseño de un Cimiento para un Tanque de GNL

Estoy diseñando una cimentación con pilotes para soportar un tanque de gas natural licuado (GNL) (tanque de Acero de Contención Completa de acuerdo con API STD 625:2021-09¹), y tengo varias preguntas respecto a mi diseño y las disposiciones que se encuentran en el ACI 376-11²:

P1. De acuerdo con la Sección 1.1, el requerimiento del Código corresponde al diseño de estructuras de concreto para almacenamiento de gases licuados refrigerados (RLG [por sus iniciales en inglés]) con temperaturas de servicio de entre +4 y -200°C (+40 y -325°F). La Sección 4.7.2(a) enumera los esfuerzos máximos de 83, 70 y 55 MPa (12,000, 10,000 y 8,000 psi) para refuerzo ASTM A615 Grado 60, de conformidad con NFPA 59A-09,³ a temperaturas de servicio inferiores a -18°C (0°F) para conservar la ductilidad y tenacidad. Esto significa que los efectos de las temperaturas de -18 y -200°C son iguales. ¿Cuál es la base del límite máximo de esfuerzo con respecto al cambio de temperatura?

P2. Sección R4.7.1 de Comentarios, hace referencia a NFPA 59A para estos valores de límites de esfuerzo sin ningún detalle o justificación técnica. ¿Puede aclararlo? Debido a que los datos para el límite de esfuerzo a la fluencia fueron eliminados de la última versión de NFPA 59A⁴.

P3. ¿Por qué el Código no especifica los requerimientos y los criterios de aceptación para las pruebas de impacto del acero?

P4. Un Artículo titulado “Materiales de Refuerzo a bajas Temperaturas”⁵ habla sobre una investigación del comportamiento de los aceros de refuerzo ASTM A706 y ASTM A615 a temperaturas que varían entre +20 a -60°C (68 a -76°F) realizada para asistir en el desarrollo de lineamientos para estructuras en regiones frías. El artículo analiza el

efecto de la temperatura sobre el límite elástico y los incrementos tanto en límite elástico como en la resistencia última, que varía entre 5 y 11% a -40 o -60°C (-40 o -76°F) en comparación con aquellas a 20°C, ya sea sin cambio o con una disminución en la ductilidad a medida que la temperatura disminuye de +20 a -60°C. Otro artículo titulado “Efectos de la baja Temperatura e Índice de Tensión en el Comportamiento Esfuerzo-Deformación del acero de Refuerzo ASTM A706 Grado 420(60)”⁶ aborda una investigación del comportamiento del acero de refuerzo ASTM A706 a temperaturas que varían de +20 a -40°C. El artículo concluye que la ductilidad de las barras de refuerzo no se verá afectada por la temperatura más fría y las curvas esfuerzo-deformación a +20, -20 (-4°F) y -40°C son muy cercanas a la misma. ¿Pueden estos estudios considerarse como las bases para reevaluar el acero de refuerzo ASTM A706 para el producto de GNL para temperaturas de hasta -40°C?

P5. ¿Pueden otros materiales (por ejemplo, barras de polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP [por sus iniciales en inglés]) utilizarse en lugar de las barras de acero de refuerzo o de acero inoxidable?

R1y2. NFPA 59A adopta los requerimientos de ACI 376 por referencia y esto hace que las disposiciones de cimentación sean obligatorias para los tanques API 625, excepto tal como se indica. ACI CODE-376-23⁷ eliminó el umbral de 0°F (-18°C) para requerimientos de temperatura fría y lo cambió a “requerido para contención de producto” (Sección R4.7.1.2(b) de Comentarios). La base del diseño no tiene restricciones de temperatura pero debe cumplir con las disposiciones del código de construcción que se especifique o requiera. Los requerimientos también corresponden a temperaturas de producto sobre 0°F. Para temperaturas de producto más frías, los requerimientos más restrictivos de ACI 376-11 son la base para el diseño.

Primero, necesita determinar si una cimentación para un tanque API 625 se “requiere para contención de producto” durante un derrame importante. Por lo general, la respuesta es no, a menos que el cimiento sea parte de un sistema de contención secundario. Observe que los efectos de un derrame leve, tal como una fuga de tubería, se solucionan mediante blindaje y drenaje.

El rango de temperaturas de producto según ACI 376-11, Sección 1.1, es una afirmación del rango de Gas Licuado Refrigerado en el alcance del

Código (por ejemplo, butano y propano líquido a oxígeno y nitrógeno líquido) y no tiene el propósito de correlacionarse con la Sección 4.7.2(a). Las disposiciones de la Sección 4.7.2(a) son un legado de NFPA 59A (para GNL) basadas en los principios de que las barras de acero de refuerzo al carbono a temperaturas criogénicas: a) tendrán una resistencia por lo menos igual al límite elástico a temperatura ambiente; y b) no se romperán a niveles bajos de esfuerzo que sean compatibles con la disminución de tensión de falla con temperatura. El uso práctico de esfuerzos permisibles en la Sección 4.7.2(b) ha sido el diseño de refuerzo de tensión en cojinetes de concreto expuestos a temperaturas de GNL que distribuyen las cargas de carcasa concentradas de un tanque de acero interior al aislamiento de vidrio espumado de soporte. La Sección 4.7.2(b) puede utilizarse para refuerzo en otros elementos de contención, pero los diseños basados en otras disposiciones de la Sección 4.7.2 probablemente sean mejores soluciones.

R3. Si usted se refiere a los requerimientos de Charpy V-notch, no se considera que la prueba sea aplicable a las barras de refuerzo para concreto independientemente de la temperatura. La razón es que el índice de carga para la prueba Charpy V-notch es una carga de impacto que son órdenes de magnitud más altas que el índice de carga de las cargas de operación, ambientales o que la prueba de tensión ordinaria. Las explosiones y fuerzas de gran impacto, tales como las colisiones de aeronaves, requieren consideración especial más allá del alcance de ACI 376. Para cargas de impacto, la prueba de tensión dinámica de barras de refuerzo debe ser la base del diseño porque representa el comportamiento bajo la carga de impacto de una sección de concreto reforzado.

R4. Los documentos citados y revisados por pares abordan un rango de temperatura no estudiado a menudo en pruebas de temperatura bajas sobre barras de refuerzo para servicio de GNL a -260°F (-160°C).

R5. Puede estudiarse el uso de una alternativa tal como el refuerzo de Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio para reemplazar el refuerzo de carbono y acero inoxidable, pero no es probable que este material tenga la capacidad de tensión necesaria para cargas mecánicas más fuerzas de auto-tensión en temperaturas frías. La Relación de Sensibilidad de Muesca que se abordó en el último párrafo de

ACI 376-11, Sección R4.7.2 de Comentarios, podría utilizarse como la base para evaluar la idoneidad de otro refuerzo cuando funcione según “se requiera para contención de producto.”

Nota: Puede encontrar información adicional sobre las normas ASTM comentadas en este artículo en www.astm.org.

Referencias

1. API STD 625:2021-09, “Tank Systems for Refrigerated Liquefied Gas Storage,” American Petroleum Institute, Washington, DC, 2021, 91 pp.
2. ACI Committee 376, “Code Requirements for Design and Construction of Concrete Structures for the Containment of Refrigerated Liquefied Gases (ACI 376-11) and Commentary,” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2013, 149 pp.
3. NFPA 59A-09, “Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas (LNG),” National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2009, 73 pp.
4. NFPA 59A-23, “Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas (LNG),” National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2023, 62 pp.
5. Riddell, W.T.; Cleary, D.B.; Lomboy, G.R.; Abubakri, S.; Kennedy, D.; and Watts, B., “Reinforcing Materials at Cold Temperatures,” The 2021 World Congress on Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM21), Seúl, Corea del Sur, 23-26 agosto, 2021, 17 pp.
6. Levings, J., and Sritharan, S., “Effects of Cold Temperature and Strain Rate on the Stress-Strain Behavior of ASTM A706 Grade 420(60) Steel Reinforcement,” Journal of Materials in Civil Engineering, V.24, No. 12, Dec. 2012, pp. 1441-1449.
7. ACI Committee 376, “Refrigerated Liquefied Gas Containment for Concrete Structures – Code Requirements and Commentary (ACI CODE-376-23),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2023, 177 pp.

Gracias a los miembros del Comité ACI 376, Estructuras de Concreto para Contención de Gas Natural Licuado Refrigerado, por ayudar a responder estas preguntas.

Las preguntas de esta columna fueron formuladas por usuarios de los documentos de ACI y han sido respondidas por el personal de ACI o por un miembro o miembros de los comités técnicos de ACI. Las respuestas no representan la posición oficial de un comité de ACI. Los comentarios deben enviarse a keith.tosolt@concrete.org.

Título original en inglés:
**Designing a Foundation for
an LNG Tank**

**La traducción de este artículo
correspondió al Capítulo
México Centro y Sur**



Traductora:
**Lic. Ana Patricia
García Medina**



Revisora Técnica:
**Ing. Karla Elizabeth
de la Fuente
Monforte**