

5º TANQUE DE GAS NATURAL LICUADO (GNL) EN LA TERMINAL DE ZEEBRUGGE (BÉLGICA)

5TH LNG TANK IN ZEEBRUGGE TERMINAL (BELGIUM)

Miguel BAÑARES DORADO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Esteyco S.A.P.
Director Técnico
miguel.banares@esteyco.com

Mikel ARAMBURU CELAYA

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Esteyco S.A.P.
Ingeniero Dpto. Estructuras
mikel.aramburu@esteyco.com

Ángel LÁZARO RODRÍGUEZ

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Esteyco S.A.P.
Ingeniero Dpto. Estructuras
angel.lazaro@esteyco.com

Javier NIETO CALDUCH

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Esteyco S.A.P.
Responsable de Ingeniería del Terreno
javier.nieto@esteyco.com

Marc ESQUIUS BERENGUERAS

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Esteyco S.A.P.
Ingeniero Dpto. Ingeniería del Terreno
marc.esquius@esteyco.com

Ivan D'ANGIURO

Licenciado en Ciencias Geológicas
Especialista en Geotecnia

RESUMEN

ESTEYCO ha sido contratada por la constructora BALZOLA para desarrollar los servicios de ingeniería de Obra Civil dentro del contrato de EPCC del 5º Tanque de Gas Natural Licuado (GNL) para Fluxys en Zeebrugge (Bélgica).

El proyecto consta de dos estructuras principales:

- El tanque de GNL de contención completa y de gran capacidad (180.000 m³).
- Un recinto circular de pantallas de 102,1 m de diámetro interior en el que se semi-enterrará el tanque.

ABSTRACT

ESTEYCO has been contracted by BALZOLA contractors to provide civil engineering works within the EPCC contract for the 5th LNG Tank in Zeebrugge (Belgium) to FLUXYS.

The project comprises two main structural items.

- The full containment high capacity LNG Tank (180.000 m³).
- A cylindrical shell with 102,1 m of inner diameter where LNG tank is semi-buried.

PALABRAS CLAVE: gnl, tanque, pantalla, acuífero, bolos, hormigón, postesado, Bélgica.

KEYWORDS: lng, tank, diaphragm wall, aquifer, boulders, concrete, post-tensioning, belgium.

1. Introducción

El diseño y construcción del 5º Tanque de Gas Natural Licuado forma parte del Contrato de *Engineering – Procurement – Construction – Commissioning* (EPCC) del Segundo Proyecto de Ampliación de la Terminal de Gas Licuado de Zeebrugge (Bélgica) para Fluxys.

Dicho segundo proyecto de ampliación incluye:

- Segundo Jetty para carga y descarga de buques de GNL
- Instalaciones para compresores y 5º Tanque junto a sus instalaciones auxiliares. Sobre éste último versa este artículo.

La planta de Zeebrugge sirve como puerto para el suministro de GNL al noroeste de Europa. Dicho GNL descargado en la terminal puede ser [1]:

- Distribuido a través de los gaseoductos de Fluxys al mercado belga u otros mercados finales como Reino Unido, Países Bajos, Alemania, Luxemburgo y Francia.
- Comercializado en los centros de intercambio de gas belga.
- Recargado en buques o camiones para ser transportado a otros mercados.

Como principales características de la planta podemos destacar:

- Se puso en marcha en 1987 y ha recibido desde su inauguración más de 1500 buques metaneros.
- Presenta una capacidad de regasificación de casi 500GWh de GNL al día.
- Pueden atracar pequeños buques metaneros de 2.000 m³ hasta grandes buques de hasta 266.000 m³
- La capacidad actual del almacenaje de GNL es de 380.000 m³, que tras la ampliación se elevará hasta los 560.000 m³.



Figura 1. Vista aérea de planta de GNL Zeebrugge.

2. Descripción General del Proyecto

Se proyecta un tanque de Gas Natural Licuado de contención total (tipo H4) de acuerdo al anexo H de la NBN EN 1473 [2].

Tanto la alta capacidad de almacenaje requerida (180.000 m³), como la limitación por razones de impacto visual y ambiental de altura edificable, obligan a la definición de un recinto circular de pantallas que permita semi-enterrar el depósito.

Del mismo modo, al tratarse de un proyecto de ampliación sobre una planta existente que a su vez fue desarrollada sobre un terreno ganado al mar, los condicionantes espaciales son determinantes limitando el máximo espacio sobre el que poder actuar.

Desde el punto de vista del terreno se pueden destacar:

- La presencia de bolos en el área de actuación hace necesaria la búsqueda de soluciones que permitan el trabajo de la pantalladora.
- La existencia de un acuífero semi-confinado comprometiendo la estabilidad del fondo de excavación y requiere un análisis detallado del fenómeno de subpresión.

Como resultado de los condicionantes de diseño anteriormente descritos se definen:

- Un muro perimetral con un diámetro interior de 102,1 m, 37 m de profundidad máxima con 24 m de altura libre, 1,2 m de espesor y arriostrado en cabeza por una viga de coronación de 2 m x 3,5 m.
- El tanque exterior con:
 - Losa de cimentación directa de hormigón armado de 97,7 m de diámetro con 0,8 m de espesor medio incrementando su valor hasta los 1,2 m en el anillo exterior bajo el muro lateral
 - Muro lateral de hormigón postesado con 33,725 m de altura y 95,1 m de diámetro exterior, con un espesor de 0,8 m recrecido en las 4 posiciones de anclaje de los tendones horizontales hasta los 1,38 m. Se define también pretensado vertical en el muro en aras a consolidar la estabilidad del mismo frente a situaciones accidentales
 - La cúpula tendrá un espesor constante de 0,45 m y radio el diámetro interior entre muros. La conexión entre muro y cúpula presenta una cuña de transición donde se concentra mayor pretensado horizontal, cerrando el tirante circunferencial que se genera.

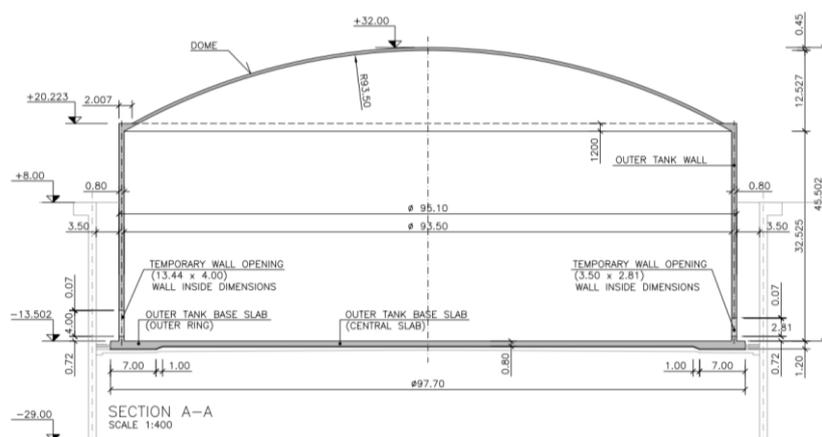


Figura 2. Sección general tanque y recinto de pantallas

3. Muro Pantalla

El muro pantalla de planta circular se ejecuta con el fin de enterrar el tanque, contener tanto las tierras como del agua que lo rodea y, en situación accidental de fuga del gas fuera del tanque exterior de hormigón, alojar temporalmente dicho vertido en este 3er “vaso contenedor”.

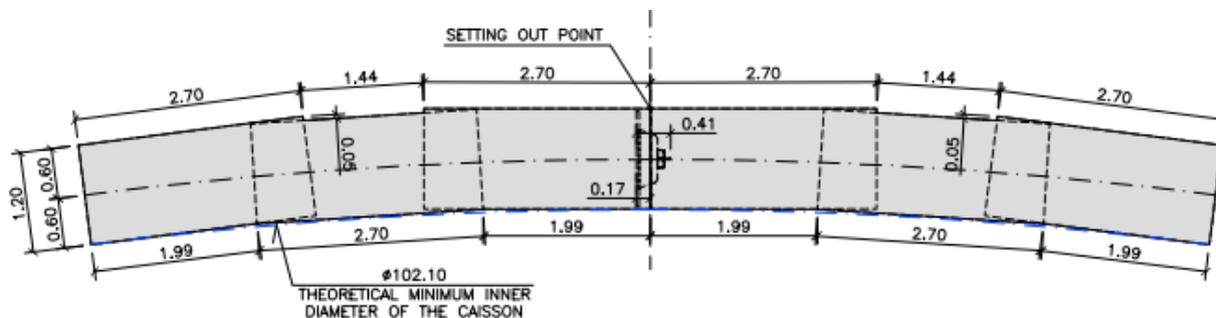


Figura 3. Sección paneles muro pantalla

El terreno en la zona del quinto tanque es prácticamente horizontal y consta de una sucesión de estratos que alternan capas de arena y arcilla. Desde el punto de vista geotécnico se consideraron 11 estratos, identificados hasta más de 100 m de profundidad, los cuales se resumen a continuación.

Depósitos antrópicos recientes:

- Relleno hidráulico formado por arena fina (15 m)

Depósitos cuaternarios:

- Arcillas plásticas correspondientes a la superficie del fondo marino original (3 m)
- Paquete de arenas densas y muy densas, dividido a su vez en 4 estratos (15 m)

Substrato terciario:

- Capa de arcilla sobreconsolidada, que actúa como barrera hidráulica (10 m)
- Capa de arcilla arenosa (5 m)
- Capa de arena fina (3 m)
- Alternancia de capas de arenisca y arena arcillosa (hasta fin de investigación)

Cabe destacar que es de gran importancia encajar la punta de las pantallas en las arcillas sobreconsolidadas, a fin de conseguir un recinto estanco que aisle hidráulicamente la excavación.

3.1. Presencia de Bolos

Ya en la fase de oferta se avisaba a los participantes de la existencia de bolos de tamaño métrico repartidos en el ámbito de obra. El origen de dichos elementos se encuentra en las obras para la construcción de la península donde se encuentra la terminal de gas llevadas a cabo en la década de los 70. Aparentemente los bolos iban destinados a la escollera de protección y durante algunos episodios de transporte con mal tiempo algunos de ellos se perdieron.

Los bolos descansan a unos 15m de profundidad, al fondo de la capa de relleno hidráulico que se vertió sobre el fondo marino original. Durante la fase de campaña geotécnica se detectaron algunos “puntos duros” pero se desconocía tanto el número como la posición exacta. La mayor preocupación era que interfirieran con el proceso de construcción de los bataches de pantalla, al impedir el funcionamiento de la cuchara bivalva debido a su tamaño y posición respecto a ella.

Ante la imposibilidad de localizar exactamente la posición de todos ellos se optó por una estrategia de contingencia. Se elaboró un mapa de probabilidad de encuentro y se elaboró un procedimiento de construcción por el cual una máquina de micropilotes iba siempre por delante de la pantalladora agujereando el terreno en la zona de la pantalla siguiendo una parrilla de detección. La separación entre agujeros se determinó de forma que si quedaba un bolo entre ellos fuera de tamaño suficientemente pequeño como para que la cuchara pudiera sacarlo. En el momento en que la máquina detectaba un punto duro se cambiaba a una parrilla de destrucción que agujeraba el bloque de forma que pudiera romperse en porciones manejables por la pantalladora.

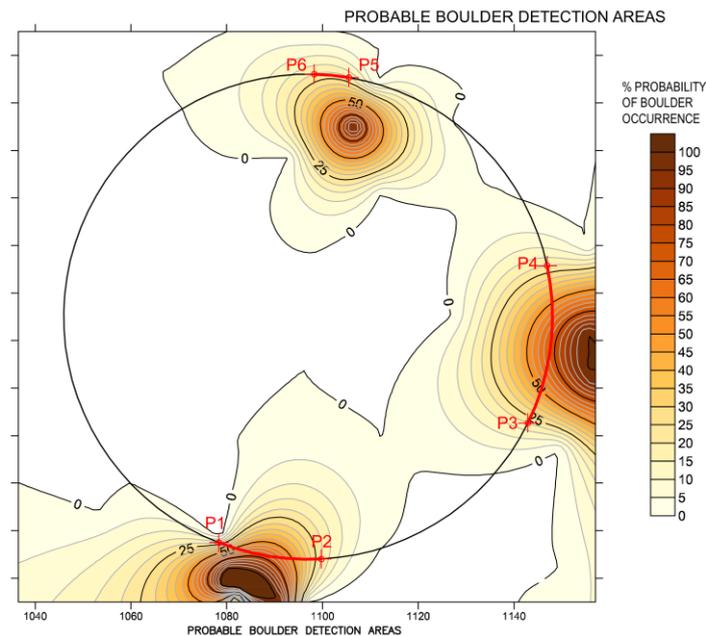


Figura 4. Plano con la probabilidad de encuentro de bolos

3.2. Acuífero Confinado

Desde el punto de vista hidrogeológico la zona del quinto tanque tiene un sistema de tres acuíferos, de los cuales solamente los más superficiales son relevantes a efectos de la construcción. El primer acuífero es sencillamente la extensión del mar a la península de la terminal de gas, y se sitúa por encima de la capa de arcillas plásticas que conformaban el fondo marino original y el relleno hidráulico. Este acuífero es relevante porque el agua llena el recinto de la excavación y es necesario vaciarlo previamente a proceder con los trabajos de excavación. Una vez construidas las pantallas se trata sencillamente de una carga de agua en el trasdós.

El segundo acuífero, no obstante, presenta una problemática especial. Formado por arena fina, se encuentra confinado por la capa de arcilla sobreconsolidada y controla directamente la estabilidad del fondo de la excavación. Fue necesario extraer agua durante la construcción del tanque, a través de la pantalla perimetral, a fin de reducir la presión por debajo de las capas impermeables y permitir la excavación hasta la cota de cimentación de la estructura sin que se produjese levantamiento de fondo. Debido a la importancia crucial de este sistema se proyectó un dispositivo pasivo de protección en forma de sifones horizontales que comunicaban los pozos de extracción directamente con el espacio entre el tanque y la pantalla. Estos sifones se encontraban colocados en la pantalla a varias alturas para conseguir el factor de seguridad deseado y hubiesen entrado en funcionamiento ante un eventual fallo de las bombas, aliviando la presión de fondo, y añadiendo peso para recuperar la estabilidad del sistema.

3.5. Excavación

Se define una secuencia de excavación prestando especial atención a:

- Máxima diferencia de cota en excavación asimétrica compatible con la capacidad resistente de la viga de coronación, que será el elemento estructural que aporte estabilidad al conjunto en dicha situación temporal
- Cota de excavación a partir de la cual se requiere el inicio del bombeo provisional para lograr limitar las presiones de agua previstas dentro del recinto de pantallas.

Estas premisas iniciales condicionan un proceso de excavación en el que no se puedan superar diferencias de base de excavación de más de 12 m, respetando una pendiente de 3H 2V para asegurar la estabilidad de los taludes provisionales.

4. Tanque exterior

El tanque exterior de hormigón pretensado tiene como funciones principales contener el gas en caso de fuga mayor y proteger el tanque interior frente a las acciones exteriores.

Se pueden diferenciar tres principales elementos en el depósito de hormigón sobre los que resaltaremos los elementos más singulares del proyecto que nos ocupa.

4.1. Losa cimentación

4.1.1. Interacción suelo-estructura

El tanque interno impone restricciones a la rigidez de la base sobre la que se apoya. Las limitaciones en las deformaciones se componen de una limitación de la deformación angular en la dirección diametral (1/300), y otra restricción que limita las deformaciones circunferenciales en desarrollo (1/500). Ambas limitaciones pretenden garantizar que el tanque interno no sufre daños por deformaciones impuestas.

Cabe resaltar que en las hipótesis de tanque interno lleno de gas licuado y test hidráulico la zona central del tanque es la que sufre unas deformaciones más relevantes, cuando en fase constructiva u operación con tanque vacío la mayor deformación se concentra bajo el muro exterior.

Para poder simular la interacción suelo – estructura se utilizan diferentes coronas anulares de valores diferentes de módulo de balasto equivalente. La calibración de la interacción suelo – estructura se realiza mediante la calibración de las deformaciones obtenidas en PLAXIS y en SAP2000.

Del mismo modo, se realiza un análisis de sensibilidad de los parámetros del terreno definiendo un límite superior y límite inferior de rigidez para cada situación de diseño, cubriendo por ambos extremos la respuesta del terreno.

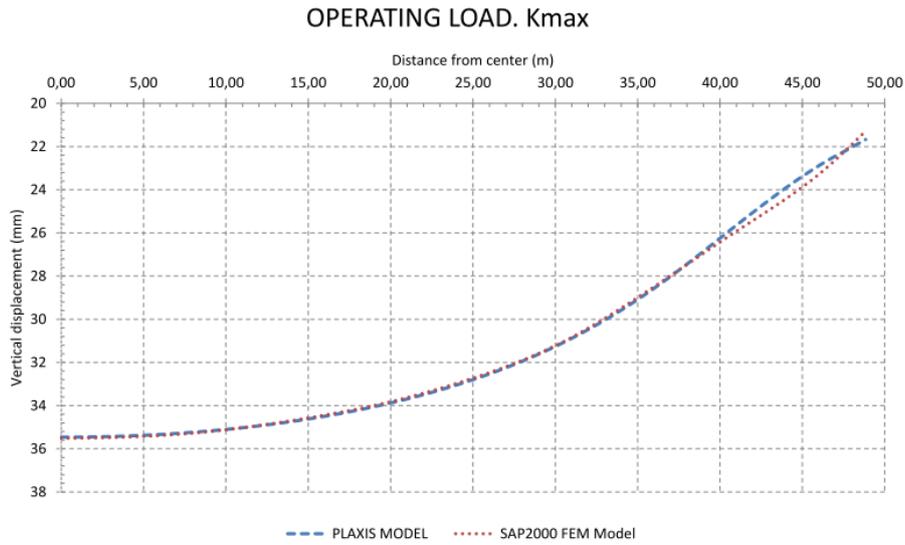


Figura 6. Comparativa asientos SAP2000 vs PLAXYS

		12.85	10.00	10.00	7.00	5.90	3.10	
Construction. Min Values	20 mm	K1= 1450 kN/m ²	K2= 1450 kN/m ²	K3= 1300 kN/m ²	K4= 1200 kN/m ²	K5= 4600 kN/m ²	K6= 12650 kN/m ²	26 mm
Construction. Max Values	10 mm	K1= 2900 kN/m ²	K2= 2900 kN/m ²	K3= 2800 kN/m ²	K4= 1700 kN/m ²	K5= 11000 kN/m ²	K6= 22000 kN/m ²	13 mm
Hydrotest. Min Values	88 mm	K1= 3800 kN/m ²	K2= 3900 kN/m ²	K3= 4100 kN/m ²	K4= 4300 kN/m ²	K5= 5700 kN/m ²	K6= 7500 kN/m ²	58 mm
Hydrotest. Max Values	44 mm	K1= 7600 kN/m ²	K2= 7800 kN/m ²	K3= 8200 kN/m ²	K4= 8900 kN/m ²	K5= 11600 kN/m ²	K6= 14400 kN/m ²	30 mm
Operation. Min Values	71 mm	K1= 2900 kN/m ²	K2= 3000 kN/m ²	K3= 3200 kN/m ²	K4= 3400 kN/m ²	K5= 4400 kN/m ²	K6= 5900 kN/m ²	43 mm
Operation. Max Values	35 mm	K1= 5800 kN/m ²	K2= 6000 kN/m ²	K3= 6400 kN/m ²	K4= 7200 kN/m ²	K5= 9500 kN/m ²	K6= 11200 kN/m ²	22 mm

Figura 7. Distribución Rigideces para losa



Figura 8. Visa aérea armadura de losa

4.2. Muro Exterior

4.2.1. Fuga Mayor

Se trata de la hipótesis de diseño que gobierna el diseño del muro exterior. Es aquella situación accidental en la que se produce un colapso completo del tanque metálico interior que acarrea los siguientes efectos:

- El gas licuado sale del tanque metálico interno y empuja hidrostáticamente tanto el muro exterior como la losa de cimentación.
- La cara interior del muro perimetral se encuentra a $-165\text{ }^{\circ}\text{C}$ por el contacto directo con el gas licuado.

En esta situación accidental el tanque externo de hormigón debe ser capaz de retener el gas licuado sin colapsar, y con unas condiciones mínimas de estanqueidad que eviten fugas relevantes.

Es esta situación de diseño la que determina la configuración del pretensado a lo largo del muro exterior frente al comportamiento vertical y circunferencial del muro.

La capacidad de retención del tanque se evalúa mediante el concepto de “cabeza de compresión residual” que se limita a 100 mm, de acuerdo al EN 14620 [3].

4.2.2. Conexión Muro – Losa Contrafuertes

El muro exterior presenta 4 recrecidos situados en diámetros ortogonales sobre los que se sitúan las cabezas activas de anclaje de los tendones horizontales.

Estos elementos suponen un engrosamiento del espesor medio del muro exterior, pasando de 0,8 m a 1,33 m. Esta variación geométrica generada para acomodar las cabezas de anclaje supone un incremento de rigidez del muro en esas posiciones lo que puede resultar perjudicial en las zonas de conexión con la losa de cimentación.

Para minimizar los efectos de dicha atracción de esfuerzos hacia esas posiciones se reduce la sección del contrafuerte en el encuentro con la losa, consiguiendo reducir la rigidez del nudo y evitando así concentraciones excesivas de esfuerzos.



Figura 9. Detalle encuentro contrafuerte – losa

4.3. Cúpula

4.3.1. Conexión Muro – Cúpula

Uno de los elementos claves del funcionamiento estructural del depósito es el elemento de conexión entre muro y cúpula.

Debe ser capaz de transmitir los esfuerzos procedentes de la cúpula (principalmente esfuerzos de membrana) y acomodarlos en el muro exterior. Como idea fundamental podemos decir que presenta un comportamiento diferente en dirección radial y circunferencial; el nudo superior del muro en dirección radial presenta una singularidad (región D) en el que los métodos clásicos seccionales no son de aplicación; en dirección circunferencial la hipótesis de planeidad de las secciones es perfectamente válida (región B).

El comportamiento circunferencial será principalmente de tracción (tirante) que debe ser contrarrestado por una compresión materializada a través de una alta concentración de tendones horizontales.

Para analizar el comportamiento radial de la conexión se plantean dos modelos diferentes de bielas y tirantes dependiendo del signo del momento procedente de la cúpula; éste modificará la posición del flujo de las tracciones y compresiones, y por consiguiente en última instancia, la posición y cuantía de las armaduras.

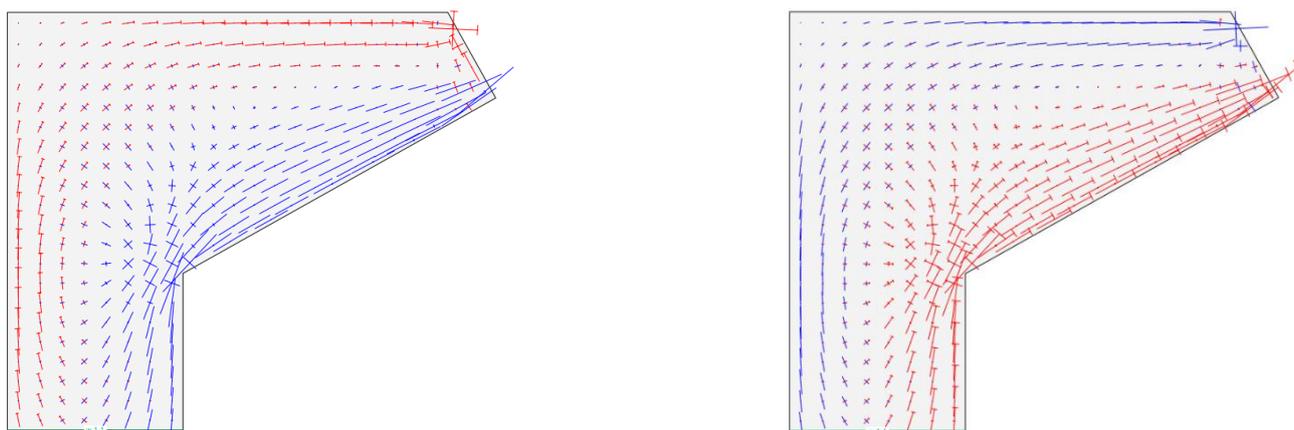


Figura 10. Tensiones principales conexión muro-cúpula M^+/M

Agradecimientos

No querríamos finalizar el artículo sin agradecer a BALZOLA, y en particular a Berta Álvarez Santamaría, por su inestimable ayuda en la realización del proyecto. Del mismo modo extender los agradecimientos a los compañeros de PRINCIPIA por completar el diseño del tanque con el desarrollo de los cálculos avanzados.

Referencias

- [1] Fluxys Bélgica, Terminal GNL Zeebrugge, www.fluxys.com.
- [2] NBN EN 1473:2007 Anexo H, Instalaciones y equipos para gas natural licuado. Diseño de las instalaciones terrestres, CEN, 2007.
- [3] NBN EN 14620-3:2007, Diseño y fabricación de tanques de acero cilíndricos, verticales y de fondo plano, construidos en el lugar de emplazamiento para el almacenamiento de gases licuados refrigerados con temperaturas de servicio entre 0 °C y -165 °C. Parte 3: Componentes de hormigón., CEN, 2007.