

## CONCEPCION GENERAL E HIPOTESIS DE DISEÑO EN LOS ALMACENAMIENTOS DE GASES LICUADOS ESPAÑA

Ramón Fernández de la Reguera,  
Ingeniero de Caminos  
Jefe del Servicio de Obras Especiales AUXINI

José Luis Rivas Zaragüeta,  
Ingeniero de Caminos  
Servicio de Obras Especiales AUXINI

581-28

### SINOPSIS

*El presente trabajo trata de resumir el estado actual en relación con el diseño de depósitos de hormigón pretensado para el almacenamiento de gases licuados a temperaturas criogénicas, haciendo hincapié en las acciones extraordinarias que condicionan el diseño de este tipo de almacenamientos.*

*El producto criogénico más comúnmente almacenado en forma líquida es el gas natural que se licúa a  $-165\text{ }^{\circ}\text{C}$  y que, por lo tanto, es el que establece unos mayores requisitos de seguridad en el diseño de estos depósitos.*

*El sumario de trabajo que sigue puede distribuirse en los siguientes apartados:*

- Necesidad del almacenamiento criogénico.
- Factor económico en su transporte y almacenaje.
- Distintos tipos de almacenamiento.
- Descripción general de un almacenamiento criogénico.
- Elementos esenciales de un depósito.
- Consideraciones mínimas de seguridad.
- Factores fundamentales en las hipótesis de diseño.
- Tipos de acciones a considerar.
- Acciones extraordinarias de origen interno.
- Acciones extraordinarias de origen externo.

### INTRODUCCION

La necesidad del almacenamiento criogénico en grandes cantidades viene muy ligada al desarrollo de los grandes contratos de importación de gas natural licuado en el mundo.

La forma clásica de almacenamiento del gas es comprimirlo. Sin embargo las limitaciones resistentes de los materiales, cuando los recipientes alcanzan grandes dimensiones, hacen que por encima de presiones moderadas, el sistema no sea económico por necesitar de grandes espesores que hacen el almacenamiento inviable. La solución pues parece clara: licuar el gas y almacenarlo en forma líquida, pero aquí aparece otro problema; no es fácil encontrar materiales que se comporten bien estructuralmente a  $-165\text{ }^{\circ}\text{C}$  que es la temperatura de licuefacción del GNL, obviamente si estos materiales existen podrán ser útiles a la vez para almacenar otro tipo de gases que licúen a temperaturas superiores.

Entre los gases o líquidos susceptibles de ser almacenados de esta manera destacan el metano, butano, propano, propileno, amoníaco, oxígeno, nitrógeno, hidrógeno; entre otros.

El gas natural licuado (GNL) consiste fundamentalmente en 80-90 % de metano, siendo el resto de etano, propano, nitrógeno. Todos los productos mencionados tienen un punto de ebullición inferior a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , aunque el más común es el GNL y por tanto al que vamos a referirnos con prioridad en adelante.

En un metro cúbico de gas natural licuado se almacenan cerca de  $600\text{ m}^3$  de gas en forma gaseosa; es evidente que tanto para el transporte desde su origen como para su almacenaje, esta reducción de volumen representa un factor económico esencial. En los países productores de gas, éste se licúa y se almacena en depósitos en los cuales permanece hasta que es bombeado a los buques metaneros, en los cuales es llevado a su destino a los países consumidores. Al llegar a su destino, el GNL se descarga en un depósito de gas licuado preparado para recibirlo. Este gas es almacenado en forma líquida hasta que se saca otra vez del mismo y se dirige a una planta de regasificación y calentamiento del gas, desde donde se transporta a los puntos de consumo a través de gasoductos a temperatura ambiente y elevada presión.

Podemos distinguir cinco aspectos diferentes en los almacenamientos del gas natural:

- Almacenamientos en cabeceras de producción.
- Almacenamientos en terminales receptoras.
- Almacenamientos en plantas estacionales de puntas, donde su función es licuar el gas transportado por tubería en períodos Valle (normalmente los meses más templados) y entregarlo a la red en las puntas de frío del invierno.
- Además en zonas donde el consumo no justifica el establecimiento de una red de transporte, puede llevarse el gas hasta el centro de consumo mediante cisternas criogénicas, almacenándolo en una terminal y allí entregarlo a la red, constituyendo lo que se llama una planta satélite.
- Muros de seguridad alrededor de depósitos de almacenamiento de GNL, en los que si bien su función no es la contención primaria del producto, su diseño está vinculado estrechamente a la tecnología criogénica, pues deben proyectarse con fuertes requisitos de seguridad frente a derrames de GNL procedentes de almacenamientos o radiaciones térmicas de un depósito vecino, o incluso para resistir el impacto de un bazooka o arma terrorista convencional.

Antes de entrar en la descripción del diseño y construcción de un depósito de 80.000 m<sup>3</sup> de capacidad para GNL, hemos creído conveniente exponer primeramente unas ideas acerca de la concepción general de un depósito para almacenamiento de productos criogénicos, así como consideraciones de seguridad e hipótesis de diseño que deben tenerse en cuenta en este tipo de proyectos. Con ello pretendemos dar unos criterios generales sobre la filosofía del diseño de un almacenamiento de productos a muy bajas temperaturas, de forma que pueda interpretarse mejor el proyecto y construcción de una obra concreta como es la que se describe en el artículo 581-30, pág. 35.

### DESCRIPCION GENERAL DE UN ALMACENAMIENTO CRIOGENICO

Para poder mantener el gas en el depósito en estado líquido y a baja temperatura, los depósitos se componen de cuatro elementos esenciales (figura 1).

- a) El recipiente interno, que contiene el gas licuado a temperatura criogénica y separado de cualquier contacto con el exterior a través del aislamiento. Este contenedor primario está constituido por materiales aceptados y comprobados para que puedan trabajar en condiciones criogénicas, teniendo adecuadas características mecánicas y de estanquidad.

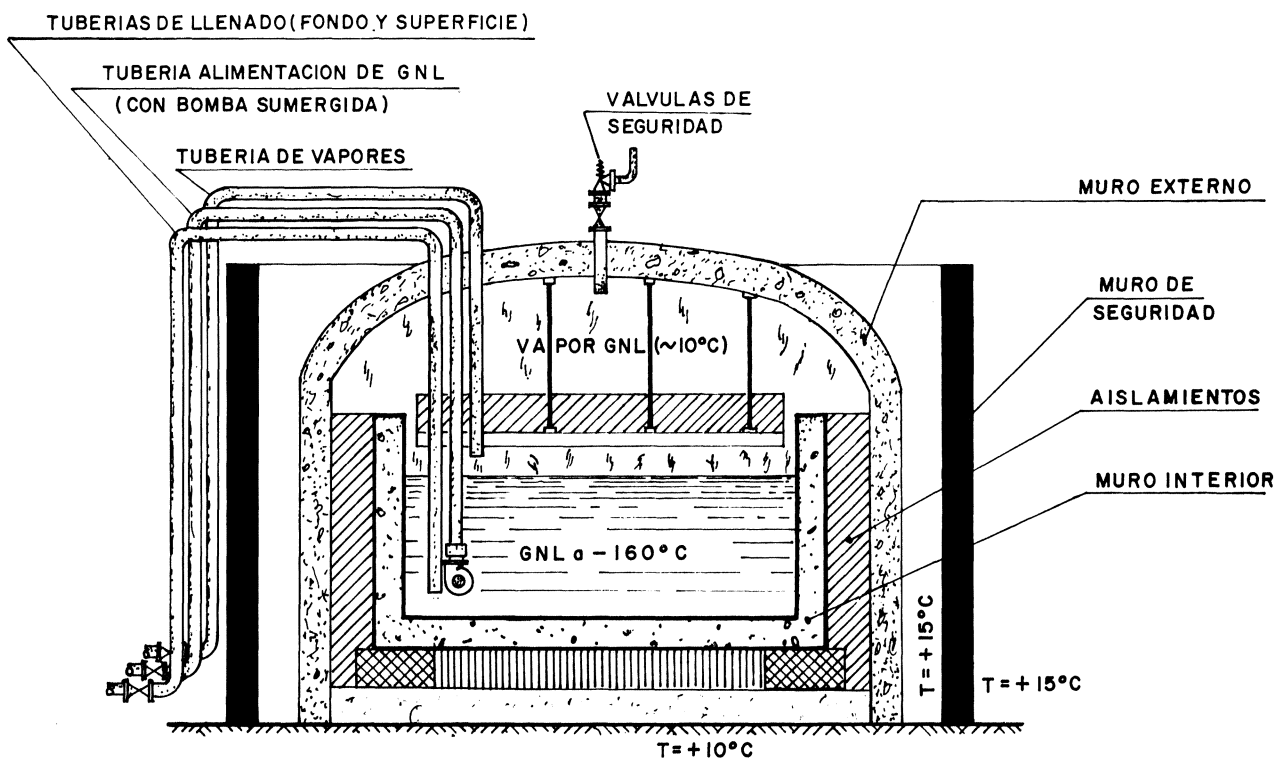


Figura 1. — Esquema simplificado de un almacenamiento de GNL.

Los materiales usados para este contenedor son básicamente: el hormigón pretensado, la chapa de acero al 9 % níquel, aluminio y acero inoxidable; estos dos últimos quedan prácticamente descartados para su empleo en muros y fondo por tener un coeficiente de contracción muy elevado y ser un material muy difícilmente soldable (el aluminio) o por razones económicas (el acero inoxidable es altamente costoso), por tanto los dos primeros son los más comúnmente empleados.

b) El aislante que rodea totalmente a este depósito interno y evita al máximo económico el aporte de calorías del exterior al GNL, disminuyendo por tanto la evaporación.

El recipiente criogénico es en muchos aspectos parecido a una «olla» en constante ebullición. En efecto, para poder mantener el equilibrio entre presión y temperatura, se prevé en un depósito de GNL una evaporación máxima diaria calculada y controlada, que suele oscilar actualmente alrededor del medio por mil de la capacidad total del depósito.

c) El recipiente externo que sirve de contención al aislamiento, y es estanco a los vapores de GNL, estando normalmente a temperatura ambiente.

d) Finalmente un muro llamado de seguridad, alrededor y concéntrico al depósito, en el que si bien su función no es la contención primaria del producto, su diseño está vinculado estrechamente a la tecnología criogénica, pues debe proyectarse con fuertes requisitos de seguridad frente a derrames de GNL procedentes de almacenamientos adyacentes o frente a radiaciones térmicas de un depósito vecino; incluso debe resistir el impacto de un bazooka o arma terrorista convencional o contener un derrame masivo producido por la rotura del depósito.

La tendencia actual es a incorporar las funciones del recipiente externo y del muro de seguridad en un muro único de hormigón pretensado, solución que ha dado en llamarse «depósito integral».

## CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD

¿Qué pasaría si en una gran terminal de almacenamiento un terrorista armado de un lanzamisiles disparara contra un depósito? O más sencillamente ¿Qué pasaría si en una tubería de gas a alta presión se disparara un vástago de una válvula o un trozo de tubo saliera proyectado contra el depósito?

En el cuadro de la página siguiente pueden apreciarse los espesores necesarios de hormigón y de acero requerido para resistir tales impactos y

muestra que los depósitos normales de pared metálica no pueden resistir estos efectos siendo perforados, mientras que por el contrario una pared de hormigón es perfectamente apta.

Siguiendo en la línea anterior, después de la eventual perforación del depósito, el GNL saldría a la atmósfera vaporizándose de inmediato y formando una densa nube de gas frío.

Profundos estudios se han efectuado de este fenómeno que hoy constituye uno de los requisitos básicos para la implantación de terminales y la elección de soluciones. Sin ánimo de dramatizar mencionaremos que bajo ciertas condiciones atmosféricas desfavorables la nube podría alcanzar dentro de los límites de inflamabilidad, superficies de varios kilómetros cuadrados, en los que teóricamente bastaría la menor fuente de ignición para ocasionar una catástrofe de dimensiones desconocidas. El alto nivel de radiaciones en un fuego de GNL añade peligros potenciales por extender el fuego a los depósitos adyacentes, ocasionando graves daños para el personal situado en el área de influencia.

Este panorama, digno de una película catastrófica tan de moda actualmente, no es tan fantástico como parece, y así la Asociación Americana de Seguros, ha pedido a la Comisión del National Fire Protection Association, organismo que regula en Estados Unidos este tipo de instalaciones, la colocación de dispositivos que automáticamente provoquen la ignición de la atmósfera explosiva dentro de los confines de la planta en caso de siniestro. La propuesta no fue aceptada, pero ya resulta curioso que para un asegurador sea rentable destruir la planta completa y su contenido antes que dejar a la nube viajar incontroladamente.

Es un hecho la tendencia mundial por aumentar la seguridad de las instalaciones, incluso por encima de los requerimientos específicos de Normas y Códigos vigentes, hasta el punto de que por la presión de Autoridades, opiniones autorizadas de distintos grupos, entre ellos los ecologistas y de protección del medio ambiente, grandes proyectos se encuentran actualmente paralizados en espera de mejorar su capacidad de respuesta a los nuevos niveles de seguridad requeridos.

Estamos en un estado de ebullición, en esta tecnología, de forma que todavía no existen Códigos y Normas establecidos que por su propio proceso de elaboración requieren tiempos incompatibles con la presión social que generan los nuevos requisitos.

El concepto de seguridad es básico a la hora de evaluar las hipótesis de diseño de este tipo de almacenamientos.

Este concepto de seguridad señalado hasta ahora en su faceta de «protección», queda complementa-

PROYECTIL	HORMIGON			ACERO		
	muro de 30 cm de espesor			muro de acero de 8 mm de espesor		
	X	E	M	X	E	M
VALVULA DE 12" Peso 140 kg Diámetro 40 cm Velocidad 150 m/segundo	5,5 cm	12cm	15 cm	> 8 mm	27mm	34 mm
TUBO DE 4" Peso 9 kg Diámetro 10 cm Velocidad 55 m/segundo	9,5cm	24cm	29cm	> 8 mm	20mm	25 mm
METRALLA Peso 2,3 kg Diámetro 6,4 cm Velocidad 305 m/segundo	7,5 cm	14 cm	17 cm	> 8 mm	27 mm	28 mm

X = Profundidad del cráter

E = Espesor del muro que será perforado

M = Mínimo espesor de muro requerido para evitar la perforación

Fuente: N.ROUSZKY. Consideraciones de seguridad para el almacenaje de gases licuados.

do desde otro punto de vista con la faceta de «garantía de suministro de un servicio», o sea desde un punto de vista estrictamente funcional.

Para las acciones inherentes a la utilización del depósito, deberán cumplirse las prescripciones necesarias de seguridad, tanto para conseguir la protección de las vidas humanas, propiedades y entorno ambiental, como para que se interrumpa el normal desarrollo de las actividades propias de la instalación.

Sin embargo para determinados grados de severidad de algunas acciones extraordinarias cuya probabilidad de ocurrencia sea muy pequeña, puede admitirse que quede dañado el funcionalismo de la instalación siempre que se garantice el mantenimiento del nivel de protección adecuado.

Es necesario pues establecer la consideración de dos niveles de seguridad, caracterizados por la respuesta mínima exigida a la estructura:

- Un primer nivel de severidad de las acciones, en el que se considerarán aquellos valores para los cuales se garantiza la integridad del depósito desde el punto de vista de protección, admitiéndose la suspensión temporal de la operación del almacenamiento.
- Un segundo nivel de severidad de las acciones para el que la instalación debe seguir funcionando sin paralización de su operación, realizándose las reparaciones adecuadas sin necesidad de poner el depósito fuera de servicio.

## HIPOTESIS DE DISEÑO

Los criterios de diseño que deben regir para el desarrollo de un proyecto de almacenamiento de productos a temperatura criogénica, deben basarse en los siguientes factores:

- a) La naturaleza del gas licuado que se quiere almacenar, su composición química, densidad, temperatura de almacenamiento, límites de inflamabilidad, etc.
- b) La presión del gas almacenado en estado vapor y en equilibrio con el líquido.
- c) La cantidad de gas licuado que se quiere almacenar.
- d) La evaporación máxima permitida (boil-off).
- e) La forma en que se realicen las pruebas al tanque para su aceptabilidad. En general se efectúan pruebas hidráulicas y neumática del recipiente interno y prueba neumática del externo.
- f) Aspectos relativos a la localización tales como: datos meteorológicos, la posible agresividad del contorno, datos sobre el terreno, etcétera.
- g) Finalmente, los aspectos referentes a acontecimientos imprevistos o indeseables, derivados de accidentes de origen interno o externo al depósito, tales como derrame de GNL, fuego del contenido o de un depósito vecino, etcétera.

Las acciones a considerar deben distinguirse entre las de «**carácter normal**» que tienen lugar durante la vida o explotación del depósito, y aquellas de «**carácter excepcional**» que procediendo a su vez de origen interno o externo al almacenamiento, solicitan la estructura ocasionalmente.

Analizamos a continuación las distintas acciones enumeradas en los cuadros adjuntos 1, 2 y 3.

CUADRO 1. ACCIONES QUE DEBEN CONSIDERARSE EN EL PROYECTO DE UN ALMACENAMIENTO DE GNL

ACCIONES NORMALES	MAGNITUD
Peso y cargas muertas .....	M.V. — 101
Viento y nieve .....	M.V. — 101
Presión hidrostática .....	Densidad del líquido 450-500 kg/m <sup>3</sup> .
Presión del gas .....	1.400 - 2.000 mm·c.a.
Enfriamiento controlado .....	+ 30 °C a — 165 °C
Asientos diferenciales .....	Características del terreno.
Sismo de diseño .....	Estudio local.

CUADRO 2. ACCIONES QUE DEBEN CONSIDERARSE EN EL PROYECTO DE UN ALMACENAMIENTO DE GNL

PRUEBAS DE APTITUD	MAGNITUD
Hidráulica.....	1,25 veces la carga hidráulica del líquido.
Neumática.....	1,25 veces la presión de diseño.
<b>ACCIONES ACCIDENTALES</b>	
Sobre-llenado.....	Lleno hasta el borde superior. + 0,2 bares.
Sobre-presión .....	— 0,02 bares.
Vacío .....	Aplicable a 15 m <sup>2</sup> con salto térmico de 200 °C.
Punto frío.....	

CUADRO 3. ACCIONES QUE DEBEN CONSIDERARSE EN EL PROYECTO DE UN ALMACENAMIENTO DE GNL

ACCIONES EXTRAORDINARIAS	MAGNITUD
Inestabilidad por estratificación..	+ 0,3 bares.
Derrame de GNL interior.....	Salto térmico de 200 °C.
Impacto mecánico del líquido..	A deducir del ensayo un modelo reducido.
Fuego interno .....	
Fuego externo.....	De 40.000 a 100.000 kcal/m <sup>2</sup> durante 4 a 6 horas.
Explosión exterior .....	0,3 bares.
Derrame de GNL exterior.....	Salto térmico de 200 °C en 6 m de altura.
Impactos de elementos mecánicos.....	En función de la localización.
Sismo de seguridad .....	Estudio local del emplazamiento.

## Acciones normales durante la explotación del depósito

### Cúpula

- Cargas muertas, tales como el peso de la instalación colocada sobre el depósito y necesaria para su explotación.
- Cargas de nieve y viento, normalmente de acuerdo con las normas MV-101.
- Presión del gas en estado de vapor —variable entre 1.400 y 2.000 kg/m<sup>2</sup>.
- Cambios de temperatura en el espacio bajo la cúpula en relación con el ambiente exterior.

### Muros

- Cargas transmitidas por la cúpula.
- Cargas debidas al viento.
- Presión hidrostática del líquido.
- Presión del gas para el recipiente exterior.
- Fuerzas de fricción en la base de los muros que restrinjan su deformación.
- Influencia de la temperatura criogénica, fundamentalmente debido a la diferencia de contracción térmica de los distintos materiales que constituyen los muros.
- Acciones temporales durante las pruebas del tanque.
- Asientos diferenciales.
- Efecto sísmico.

## Acciones accidentales o extraordinarias de «origen interno»

### Sobre-llenado

El líquido puede alcanzar el borde superior del muro del recipiente interno, en cuyo caso la presión hidrostática aumenta, así como la presión del gas, puesto que su espacio disminuye. El grave problema que se presenta, es la inundación del aislamiento entre muros llegando GNL al muro o recipiente externo provocando un exceso de evaporación y, por lo tanto, de presión.

### Sobre-presión

Los depósitos normalmente funcionan a una presión de operación variable entre 500 y 1.000 mm·c.a., pero disponen de dispositivos para evi-

tar una sobrepresión, tales como válvulas de seguridad o discos de ruptura, que suelen estar tarados a la presión de diseño de la cúpula.

No obstante, se puede producir una sobrepresión o «roll-over», consistente en una producción excesiva de vapor, debida a una «estratificación» del líquido en el tanque en dos o más capas de diferente densidad o temperatura. Como consecuencia de la evaporación que tiene lugar en la superficie de la capa superior más ligera, la densidad de esta capa llega a ser más grande que la de las subyacentes. Si esto sucede, el desplazamiento de las capas del líquido en relación unas a otras, puede dar lugar a condiciones excepcionales; el líquido más pesado se hunde, produciendo una elevación de las capas profundas hacia la superficie, dando lugar a la generación súbita de vapor a la que antes aludíamos.

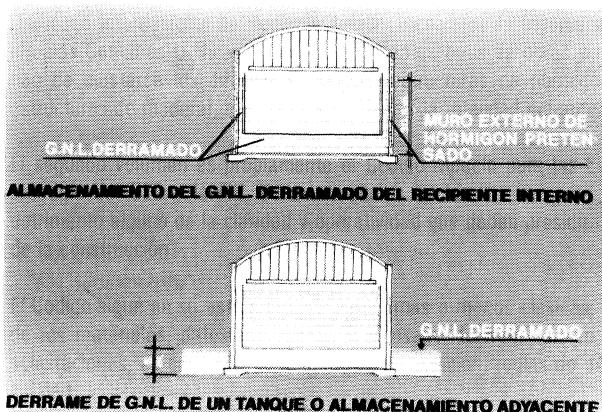
#### Vacío

Puede producirse en el tanque como consecuencia de una descarga demasiado rápida del GNL, o del gas producido (boil-off), o como consecuencia de un cambio brusco de la presión barométrica. La cúpula debe resistir esta presión negativa que suele oscilar entre 35 y 50 mm·c.a. para condiciones de explotación, llegando a 200 mm en el caso de emergencia.

#### Choque térmico por derrame

El muro externo o de seguridad debe estar diseñado para resistir el «impacto térmico» de frío, producido por un derrame de GNL, o sobrellenado, o incluso por fallo súbito total o parcial del muro interno.

También puede producirse un «punto frío» en el muro externo como consecuencia de un puente térmico a través del aislamiento que se traduce en la aparición de manchas de hielo y progresivo deterioro del mismo.



Relatamos la película de los hechos: cuando el GNL impacta en la pared del muro externo, al

Distribución de temperatura en función del tiempo en un muro de 40 cm de espesor sometido bruscamente a GNL.

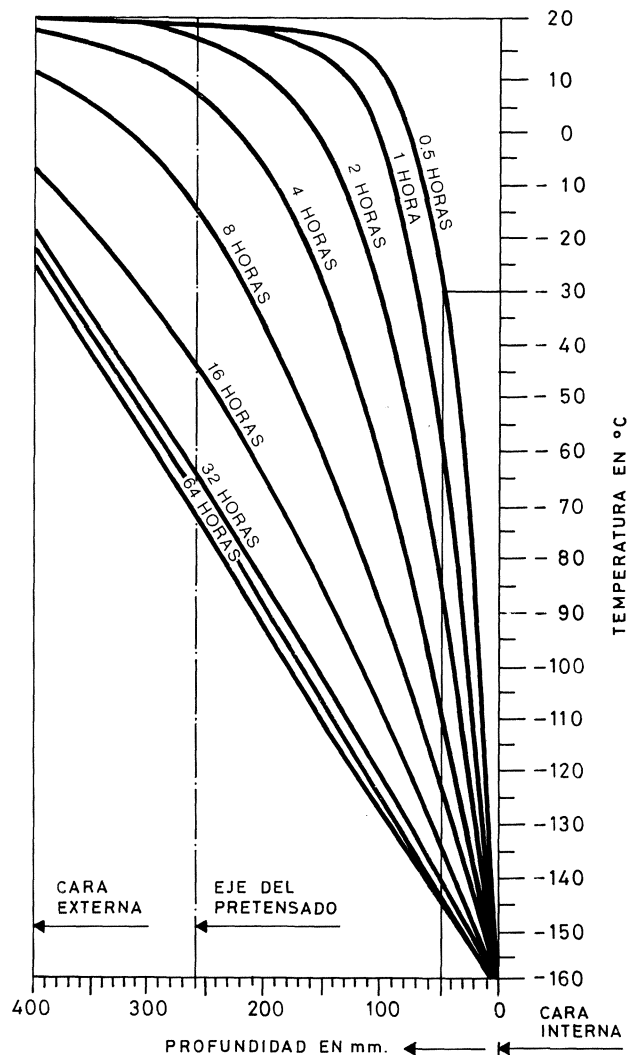


Fig. 2

primer contacto, cierta cantidad de calor será extraída del hormigón, por lo que se producirá una evaporación momentánea. La superficie de contacto obviamente descenderá de temperatura, desarrollándose una considerable diferencia de ésta en relación con los puntos situados dentro del hormigón. Esta diferencia descenderá a medida que pase el tiempo. Las tensiones térmicas que tienen lugar en la cara fría son más altas que la suma de las tensiones debidas al pretensado vertical del muro y a la capacidad última a rotura del hormigón a tracción, por lo que necesariamente el muro tiene que fisurarse. En efecto, aparecerán fisuras de muy poca anchura en la parte fría, cuya profundidad estará limitada por la distribución de temperatura. Las altas tensiones térmicas desaparecerán debido al desarrollo de las fisuras y la sección fisurada actuará sólo como un «aislante» de hormigón.

El pretensado actuará entonces en la porción de la sección no fisurada, siendo la compresión que

transmita al hormigón inversamente proporcional al espesor de la referida zona. Las grietas irán avanzando en profundidad hasta que se consiga el equilibrio entre las tensiones térmicas y la suma de la resistencia última del hormigón a tracción y la compresión de pretensado en la sección no fisurada de la pared.

A modo de ejemplo, veamos a continuación los resultados de los cálculos referentes a la distribución de temperatura para un muro de seguridad de 40 cm de espesor que es expuesto súbitamente a GNL. Se deduce de este diagrama (figura 2) que después de media hora, la diferencia de temperatura en los primeros 40-50 mm de espesor del muro, es aproximadamente 130 °C, lo que constituye una condición extremadamente severa para esta capa de hormigón; podemos ver también cómo el estado permanente aparece después de 64 horas. El espesor de la zona no fisurada debe estar comprendido entre un 30 a un 50 % del espesor total del muro.

Debido a la diferente contracción de las armaduras y del hormigón, aparece un efecto de postensado sobre el hormigón debido a la mayor contracción térmica de áquellas.

Es evidente que un muro de seguridad, después de haber sufrido un choque térmico como el relatado, queda totalmente inservible para el futuro, debido muy posiblemente a que además la situación se agrava por el fuego que probablemente se produzca en el interior del depósito, en caso de un derrame masivo de GNL.

#### *Impacto mecánico del líquido*

Si un tanque falla repentinamente estará sometido además del choque térmico apuntado anteriormente, a un impacto mecánico por la carga hidrostática del mismo, siendo la magnitud del impacto proporcional a la distancia entre el tanque y el muro, al nivel del líquido y a la densidad del mismo.

La cuantía de la acción a considerar depende en gran parte de los ensayos que se realicen en modelo reducido, pero se puede considerar con hipótesis muy conservadoras, que la carga en la base del muro es de seis veces la hidrostática.

#### *Fuego interno*

Puede suceder también que el contenido del tanque se incendie debido a cualquier fuente de ignición, incluso en el caso de un derrame masivo de GNL es aconsejable, por motivos de seguridad, prender fuego deliberadamente al contenido.

Obviamente la temperatura se elevará varios cientos de °C, dependiendo del tipo de gas y de la composición de la mezcla gas-aire.

El tanque debe permanecer intacto con esta «carga de fuego» y estanco por debajo del nivel del líquido del tanque que, lógicamente arderá como una antorcha a medida que el nivel del líquido va descendiendo a razón de 0,3-1 m/h.

Se presentan aquí difíciles problemas para acometer el cálculo de las secciones del muro que se encuentran próximas a la superficie del líquido que está ardiendo; el gradiente de temperatura vertical entre la zona inundada por el líquido y la zona expuesta al fuego es en un metro, o incluso en menor distancia, de varios cientos de °C. Esto produce unas tensiones en el hormigón difíciles de evaluar, pero en cualquier caso provocan la inmediata fisuración de las capas expuestas al fuego.

En todo caso, sabemos que las estructuras de hormigón se comportan adecuadamente al fuego durante un número limitado, pero suficiente, de horas para quemar o evacuar el contenido.

### **Acciones anormales debidas a acontecimientos de «origen externo»**

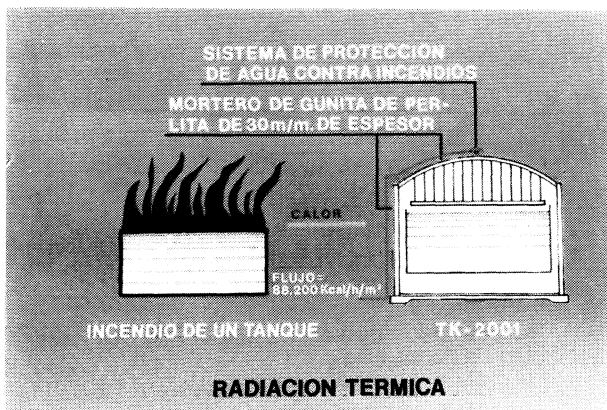
#### *Fuego externo*

El muro de seguridad o tercera pared, debe resistir también la radiación térmica producida desde un fuego cercano; la intensidad y la duración de la radiación dependerá de la altura y diámetro del recipiente donde se encuentra contenido el líquido que se quema y de la distancia entre el fuego y el muro; esta intensidad de la radiación puede calcularse de forma bastante exacta, aunque usualmente se acepta una radiación de 88.000 kcal/h/m<sup>2</sup> o similar durante unas seis horas, suponiendo que sea el contenido de un tanque el que arde.

Los recubrimientos antitérmicos que se colocan sobre el exterior del depósito deben ser capaces de resistir esta radiación, impidiendo que la temperatura en el acero de pretensado sea superior a 200 °C; se pueden emplear como recubrimientos la gunita antitérmica o pinturas especiales que con espesor de 1.500 a 2.000 micras cumplen a plena satisfacción su misión protectora.

Es obligatorio en las plantas petroquímicas, la colocación de un sistema de distribución de agua de defensa contra incendios, que moje la cúpula y las paredes del tanque, dando así una protección adicional a los recubrimientos incorporados a la estructura.

Los efectos de un fuego exterior sobre el muro son similares a los producidos en el caso de derrame de GNL pero, lógicamente, a la inversa: la distribución de temperatura en la estructura es función del tiempo, y puede determinarse con la ayuda de la ecuación diferencial de Fourier, que



contiene los coeficientes de distribución térmica. El gradiente térmico en el muro dará lugar al desarrollo de fisuras en la cara interna del mismo; el equilibrio de tensión ocurrirá con una profundidad de grieta de aproximadamente 2/3 del espesor del muro después de aproximadamente 5 horas.

Lógicamente, un muro expuesto a tal condición extrema, quedará inservible después de soportar esta radiación, pero habrá cumplido su misión de impedir que el fuego afecte al contenido en el tanque, produciendo una excesiva vaporización.

#### Explosión exterior

Puede darse el caso de que una explosión cercana afecte al tanque; para un cálculo preliminar se

puede adoptar una presión de 0,1-0,3 bares actuando sobre un lado del muro. Es importante comprobar también que las fuerzas de compresión que son ejercidas sobre el tanque, puedan transmitirse a la cimentación sin fallos del terreno ni de ningún elemento estructural.

#### Acceso de GNL al exterior del tanque

Esta condición que puede darse como consecuencia de un derrame, en un tanque vecino, no parece condicionar excesivamente los requisitos de diseño; en primer lugar, muchos tanques se construyen elevados, por lo que la altura del muro afectada está limitada a unos pocos metros, y en segundo lugar, el recubrimiento de gunita anti-térmica es capaz de impedir el choque térmico brusco a los cables de pretensado.

#### Impactos de elementos de sabotaje, aviación, etcétera

Es deseable diseñar un almacenamiento criogénico de forma que resista ciertos tipos de impactos procedentes de un terrorismo convencional, o simplemente por la explosión de tuberías o válvulas en la planta cercana que salen despedidos y chocan contra el tanque.

Para calcular la resistencia a la penetración existen fórmulas disponibles de las que se puede deducir el espesor del muro.

\* \* \*

## próxima publicación del i.e.t.c.c.

### CODIGO MODELO CEB-FIP 1978 PARA LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGON

Aunque presentado con el título de «Código Modelo CEB/FIP 1978» este documento incorpora los dos primeros volúmenes del «Sistema Unificado Internacional de Reglamentación Técnica de la Ingeniería Civil». El primer volumen de este «Sistema Unificado» es el denominado «Reglas Comunes Unificadas para los diferentes tipos de obras y materiales», donde se exponen los criterios y formatos de seguridad a que han de ajustarse los diferentes Códigos (estructuras de hormigón, estructuras metálicas, estructuras mixtas, estructuras de albañilería y estructuras de madera), que han de configurar la totalidad del antedicho Sistema.

El segundo volumen es propiamente el Código Modelo para las Estructuras de Hormigón. Fruto de la colaboración de dos asociaciones del prestigio del CEB y la FIP, desde mediados de los 60, incorpora los avances científicos y tecnológicos producidos en los últimos años sin detrimento alguno de la claridad y operatividad que deben presidir un Código que pretende ser, ante todo, un auxiliar práctico para los técnicos de la construcción.

El Código sigue en su estructura las reglas más o menos clásicas: una primera parte dedicada a datos generales para el cálculo (propiedades de los materiales, datos relativos al pretensado, tolerancias); en segundo lugar se presentan las reglas de proyecto estructural (acciones, sollicitaciones, estados límites últimos y de utilización, reglas de detalle para el armado); y, por último, ejecución, mantenimiento y control de calidad.

También incluye reglas para estructuras con elementos prefabricados y estructuras de hormigón con áridos ligeros. Los Anejos del Código se refieren a: terminología, proyecto mediante la experimentación, resistencia al fuego, tecnología del hormigón, comportamiento en el tiempo del hormigón y fatiga.