

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS

PROYECTO DE FIN DE CARRERA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y COMBUSTIBLES

**TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GNL PARA LA AMPLIACIÓN DE LA
PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE BARCELONA**

ANDREA J. LÓPEZ LATORRE

FEBRERO DE 2013

TITULACIÓN: INGENIERO DE MINAS

PLAN: 1996

Autorizo la presentación del proyecto
**TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GNL PARA LA AMPLIACIÓN DE LA
PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE BARCELONA**

Realizado por
Andrea J. López Latorre

Dirigido por
Prof. Enrique Querol

Firmado:**Prof. Enrique Querol**

Fecha: Febrero 2013

ÍNDICE

RESUMEN	xi
ABSTRACT	xi
Documento 1: MEMORIA	1
1 OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROYECTO.....	2
2 ANTECEDENTES	3
2.1 Instalaciones existentes	3
2.2 Ampliación del Terminal	6
2.3 Trabajos previos	8
3 DATOS Y CRITERIOS PARA DISEÑO DEL TANQUE	9
3.1 Bases de Diseño	9
3.1.1 Condiciones del Almacenamiento de GNL	9
3.1.2 Cargas externas aplicables	11
3.2 Dimensionamiento básico del depósito.....	11
3.2.1 Nivel del líquido	11
3.2.2 Altura y radio del depósito interior.....	14
3.2.3 Otras consideraciones	15
3.3 Componentes principales del tanque.....	16
3.3.1 Cimentación	16
3.3.2 Muros y techo	16
3.3.3 Instalaciones.....	17
3.4 Características de materiales	18
3.4.1 Hormigón (pretensado y armado).....	18
3.4.2 Elementos metálicos	19
3.4.3 Aislamientos	19
3.5 Criterios de Diseño.....	20
3.5.1 Generalidades.....	20
3.5.2 Análisis de Riesgos y de Impacto ambiental	20
3.5.3 Normativa aplicable	21
4 CÁLCULOS ESTRUCTURALES	24
4.1 Depósito interior.....	24

4.1.1	Presión hidrostática del GNL.....	24
4.1.2	Cálculo de los espesores de la pared de acero al 9 % Ni.....	26
4.1.3	Techo colgante de Aluminio.....	30
4.1.4	Fondo del tanque interior.....	30
4.2	Tanque externo.....	31
4.2.1	Cálculo del Muro de hormigón.....	31
4.2.2	Cúpula del techo.....	35
4.2.3	Fondo del tanque.....	37
4.3	Aislamiento entre paredes.....	38
4.3.1	Datos básicos.....	38
4.3.2	Cálculo del aislamiento de perlita.....	38
4.3.3	Capa de perlita real y sus efectos.....	40
4.3.4	Otros aislamientos.....	41
4.4	Barrera de vapor.....	41
4.4.1	Forro cilíndrico.....	41
4.4.2	Forro del techo.....	42
4.5	Cimentación del Tanque.....	43
4.5.1	Naturaleza de los terrenos.....	43
4.5.2	Estabilidad del tanque.....	44
4.5.3	Pre-carga del terreno.....	46
4.5.4	Cálculo de la placa base de hormigón.....	47
4.5.5	Selección de Armaduras de la losa y zapata.....	51
5	DESCRIPCIÓN Y CÁLCULO DE INSTALACIONES.....	54
5.1	Máquinas.- Bombeo primario.....	54
5.2	Tuberías (Piping).....	56
5.2.1	Cálculo y descripción de la tubería de llenado de GNL.....	56
5.2.2	Cálculo y descripción de la tubería a vaporizadores.....	57
5.2.3	Otras tuberías.....	57
5.2.4	Soportes y rack de tuberías.....	58
5.3	Instalación eléctrica.....	59
5.3.1	Cables de caldeo.....	59
5.3.2	Otras instalaciones eléctricas.....	60

5.4	Instrumentación y Control.....	60
5.4.1	Control de nivel del líquido	60
5.4.2	Control de la presión del vapor	62
5.4.3	Controles de temperatura	64
5.5	Sistemas de seguridad y contra-incendios.....	65
5.6	Accesorios	67
5.6.1	Plataforma y accesos.....	67
5.6.2	Grúa de mantenimiento.....	68
6	EJECUCIÓN DEL PROYECTO	69
6.1	Introducción	69
6.2	Dirección del Proyecto	71
6.3	Gestión de Permisos	73
6.4	Concurso de EPC (Ingeniería, Suministros y Construcción).....	74
6.5	Obras preliminares	75
6.6	Planificación de los trabajos.....	76
6.7	Estimación de Inversiones.....	79
7	PUESTA EN FRÍO Y OPERACIÓN DEL TANQUE.....	81
7.1	Puesta en frío	81
7.2	Operaciones normales	83
7.3	Filosofía de control.....	84
7.4	Mantenimiento	86
	Documento 2: ESTUDIO ECONÓMICO	92
1	INTRODUCCIÓN	93
2	MEDICIONES DEL PROYECTO (CONTRATO EPC)	94
2.1	Horas de Dirección e Ingeniería.....	94
2.1.1	Dirección del Proyecto.....	94
2.1.2	Ingeniería Detallada.....	95
2.2	Equipamiento y Materiales.....	96
2.2.1	Equipamiento	96
2.2.2	Materiales.....	97
2.3	Construcción del Tanque.....	98
2.3.1	Preparaciones y Cimentación del tanque	99

2.3.2	Muro externo y barrera de vapor	100
2.3.3	Bases y Techos.....	101
2.3.4	Tanque interior.....	102
2.3.5	Estructuras, tuberías y equipamiento	103
2.3.6	Pruebas, Aislamiento y Puesta en frío	104
3	PRECIOS Y COSTES UNITARIOS (CONTRATO EPC).....	105
3.1	Dirección e Ingeniería	105
3.2	Equipamiento y Materiales.....	105
3.3	Trabajos de Construcción.....	106
4	PRESUPUESTO DE INVERSIONES	108
5	ANALISIS DE RENTABILIDAD.....	109
	Documento 3: PLIEGO DE CONDICIONES	114
1	INTRODUCCIÓN	115
2	PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES.....	116
3	ALCANCE DE LOS TRABAJOS.....	137
4	PLAN DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO	139
4.1	Introducción	139
4.2	Ingeniería de Detalle	140
4.2.1	Generalidades.....	140
4.2.2	Proceso.....	141
4.2.3	Ingeniería de Proyecto	141
4.2.4	Mecánica - Máquinasrotativas	143
4.2.5	Implantación y Tuberías	144
4.2.6	Electricidad	145
4.2.7	Instrumentación y Control	146
4.3	Gestión de Compras y Subcontrataciones.....	147
4.3.1	Generalidades.....	147
4.3.2	Gestión de Compras.....	148
4.3.3	Servicios de Inspección, Activación y Logística de Pedidos.....	148
4.3.4	Administración de Subcontratos de construcción y montaje.....	149
4.4	Construcción de las Instalaciones	151
4.4.1	Generalidades.....	151

4.4.2	Secuencia general y detalles de construcción	152
4.5	Puesta en Marcha	157
5	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	159
6	PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES	162
6.1	NORMAS Y REGLAMENTOS APLICABLES	162
6.2	CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES	162
6.2.1	Hormigones	162
6.2.2	Aceros de armar y pretensar	165
6.2.3	Acero al Carbono; chapas	167
6.3	Certificados	168
6.3.1	Acero criogénico	168
7	CONTROL DE EJECUCIÓN	172
7.1	Hormigones	172
7.1.1	Suministro y almacenamiento del cemento	172
7.1.2	Fabricación del hormigón	172
7.1.3	Encofrados	172
7.1.4	Juntas de hormigonado	172
7.1.5	Hormigonado con tiempo frío, caluroso o con lluvia	172
7.1.6	Curado del hormigón	172
7.1.7	Desencofrado	173
7.1.8	Edad y resistencia para pretensar	173
7.2	Acero de armar	173
7.2.1	Comprobación de diámetros	173
7.2.2	Colocación de solapo	173
7.2.3	Recubrimientos	174
7.2.4	Doblado	174
7.2.5	Soldadura	174
7.2.6	Anclajes de barras corrugadas	174
7.3	Acero para pretensar	174
7.3.1	Pretensado horizontal. Control de tesado y recubrimientos de gunita... ..	174
7.3.2	Pretensado vertical	175
7.4	Acero al Carbono; chapas	175

7.4.1	Calificación de soldadores	175
7.4.2	Electrodos	176
7.4.3	Mecanizado de las uniones	176
7.4.4	Posiciones para soldar	177
7.4.5	Conformación de chapa	177
7.4.6	Reparación de soldaduras	178
7.4.7	Ejecución de conectores.....	178
7.4.8	Elevación de la cúpula	178
7.4.9	Limitaciones atmosféricas	178
7.4.10	Tolerancias dimensionales	179
7.5	Aceros criogénicos	179
8	Bibliografía	181
	Documento 4: ANEXOS.....	92
	Documento 5: PLANOS	93

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Diagrama de proceso de la Terminal de GNL de Barcelona.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 2 Modelo de tanque de GNL similar al del Proyecto</i>	<i>9</i>
<i>Figura 3 Esquema dimensional del tanque interior</i>	<i>13</i>
<i>Figura 4 Presión hidrostática sobre la pared interior de acero al 9% Ni.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 5 Equilibrio de fuerzas en la pared de un cilindro delgado a presión</i>	<i>25</i>
<i>Figura 6 Pretensado del muro externo y esfuerzos transmitidos</i>	<i>32</i>
<i>Figura 7 Techo del tanque exterior</i>	<i>35</i>
<i>Figura 8 Disposición de las paredes y aislamiento del tanque de GNL</i>	<i>39</i>
<i>Figura 9 Esfuerzos sobre la cimentación</i>	<i>48</i>
<i>Figura 10 Esfuerzos de flexión y armaduras de acero.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 11 Bomba sumergida de GNL.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 12 Rack de tuberías.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 13 Niveles de GNL y alarmas</i>	<i>61</i>
<i>Figura 14 Modelo del techo del tanque</i>	<i>67</i>
<i>Figura 15 Etapas en la construcción de un Tanque de GNL</i>	<i>70</i>
<i>Figura 16 Organigrama del equipo de Dirección del Proyecto.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 17 Pre-carga del terreno</i>	<i>76</i>
<i>Figura 18 Programa de ejecución del Proyecto.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 19 Curva característica de bomba criogénica</i>	<i>84</i>
<i>Figura 20 Maniobra de retirada de bombas</i>	<i>87</i>
<i>Figura 21 Secuencia típica de ejecución de la construcción</i>	<i>152</i>

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Datos Básicos</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 2 Cálculo de espesores de acero</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 3 Cálculo del peso del tanque interior</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 4 Pesos sobre el terreno</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 5 Estimación de horas del personal Contratista</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 6 Servicios de Ingeniería Detallada</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 7 Longitudes de los cordones de la soldadura</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 8 Ensayos en el alambre del acero pretensado horizontal.....</i>	<i>167</i>

RESUMEN

ENAGAS tiene la intención de ampliar el Terminal de Regasificación de GNL que tiene en el puerto de Barcelona. El presente Proyecto Básico define las instalaciones de uno de los Tanques de almacenamiento de GNL que se van a construir dentro del Alcance de dicha ampliación, con el suficiente detalle como para permitir a ENAGAS acometer las tareas previas a la ejecución del proyecto, a saber:

1. Planificar y presupuestar la fase de ejecución
2. Solicitar los Permisos y Autorizaciones necesarias de los Organismos competentes
3. Lanzar la Petición de Ofertas para el concurso llave en mano del EPC.

Los trabajos de Ingeniería contenidos en el Proyecto Básico son los siguientes: Antecedentes y Datos básicos, Criterios de diseño, Descripción de instalaciones, Cálculos estructurales, Planos del Tanque de GNL, Definición de equipos y materiales a utilizar, Plan de ejecución del proyecto, Especificaciones técnicas para Ingeniería, Compras y Construcción, Paquete para Petición de Ofertas del EPC, Condiciones técnicas particulares, Programa de ejecución y Presupuesto de inversiones.

ABSTRACT

ENAGAS is expanding its LNG Regasification Terminal located in Barcelona Port (Spain). This Document reports the Front End Engineering and Design (FEED) works undertaken in relation to one of the LNG Storage Tanks to be built within the scope of that expansion.

The Project FEED hereby presented comprehensively defines the LNG Storage Tank so as to allow ENAGAS to perform next stages of the Works, namely:

1. Plan and budget the Project Execution phase
2. Request Regulatory authorizations
3. Invite Contractors to bid for the LNG Tank EPC.

Main components of the FEED Document contents are as follow: Background and Basic Data, Design Criteria, Description of LNG Tank elements, Engineering Calculations, LNG Tank Drawings, Equipment and Materials definition, Project Execution Plan (PEP), Technical Conditions, EPC Invitation to Tender (ITT) package, Execution Schedule and Cost Estimate.

**TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GNL PARA LA AMPLIACIÓN DE LA
PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE BARCELONA**

Documento 1: MEMORIA

1 OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROYECTO

El presente Proyecto tiene por objeto definir las instalaciones requeridas para ampliar la capacidad de almacenamiento de GNL en la Terminal de recepción que ENAGAS tiene en el puerto de Barcelona, con un nuevo tanque, así como describir las condiciones técnicas y económicas de ejecución del Proyecto que tiene que cumplir el contratista adjudicatario de su construcción. El Proyecto que aquí se presenta contiene todos los elementos que se necesitan para:

1. definir, valorar y planificar los trabajos,
2. obtener los Permisos de las autoridades correspondientes, y
3. poder lanzar el concurso del EPC (Ingeniería detallada, Adquisición de materiales y Construcción de instalaciones) bajo la modalidad “llave en mano”.

El Alcance del Proyecto consiste en la realización de la Ingeniería Básica del tanque propuesto con la suficiente definición, y de manera que todos los cálculos, selecciones, esquemas, estimaciones, propuestas y valoraciones estén debidamente justificados. En particular se prepararán, entre otros, los siguientes contenidos principales:

- Bases del diseño
- Descripción de instalaciones
- Cálculos estructurales
- Planos del tanque
- Diagrama de tuberías e instrumentación (P & I D)
- Definición de equipos y materiales
- Especificaciones técnicas
- Plan de ejecución del proyecto (PEP)
- Documentos de petición de ofertas
- Procedimientos de construcción
- Planificación de los trabajos
- Presupuesto de inversión.

2 ANTECEDENTES

2.1 Instalaciones existentes

ENAGAS dispone de una Planta de regasificación de GNL que está ubicada en el puerto de Barcelona. El proceso en esta Planta de regasificación de GNL se explica en base al diagrama que se adjunta como Plano n° 1 y que, para comodidad, se reproduce a continuación como *Figura 1* Dicha Planta dispone actualmente de cuatro tanques verticales cilíndricos para almacenamiento de GNL con las siguientes características:

Un (1) tanque de 80 000 m³ de capacidad y contención total (TK-2001), con paredes interior y exterior de hormigón pretensado

Un (1) tanque de 80 000 m³ de capacidad y doble contención (TK-1400), con pared interior de acero al 9 % Ni y pared exterior de hormigón armado

Dos (2) tanques de 40 000 m³ de capacidad cada uno y simple contención (TK-1200 A/B), los cuales se utilizan para el GNL procedente de Libia.

Además de estos cuatro tanques plenamente operativos, actualmente se procede a la construcción de dos tanques de GNL adicionales –cada uno de ellos con 150 000 m³ de capacidad- del tipo de contención total, con muro exterior de hormigón pretensado y pared interna de acero al 9 % Ni: son los denominados TK – 3000 y TK – 3001.

El gas natural líquido se almacena en los tanques prácticamente a la presión atmosférica (50mbar_g a 90 mbar_g) y a una temperatura de unos -160 °C (mínima de -163 °C).

El suministro de GNL se realiza por medio de buques metaneros para cuyo atraque se utilizan dos muelles de uso exclusivo del terminal, uno de ellos construido recientemente en la bocana del puerto interior y con capacidad para buques de hasta 140 000 m³ (GNL argelino), y el segundo que se ubica en la dársena interior del puerto y que permite metaneros de hasta 80 000 m³ solamente. Impulsado por las bombas criogénicas del propio buque, el GNL se descarga por medio de brazos articulados y se transporta a través de una tubería, de 24” de diámetro y aislada térmicamente, hasta los correspondientes tanques de almacenamiento.

En paralelo a la operación de descarga de GNL, otra tubería conduce el vapor existente en los tanques que se van llenando, por medio de unas soplantes (las C-1001 y 3002), de retorno al buque. El vapor sobrante durante la descarga, así como el que se produce de

forma continua por el calentamiento de los tanques, se ventea a la atmósfera en la actualidad, por medio de un venteo situado en una torre a la distancia mínima fijada por la norma NFPA 59A.

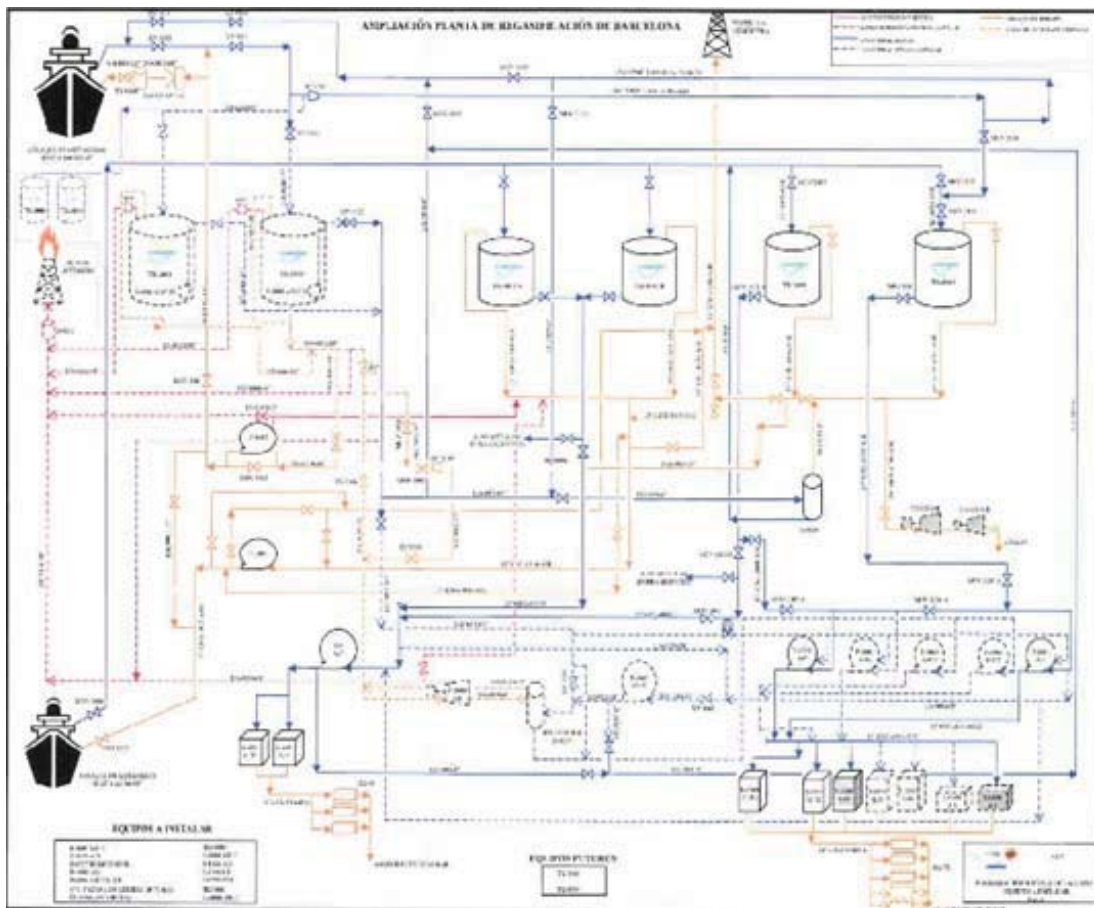


Figura 1 Diagrama de proceso de la Terminal de GNL de Barcelona

Entre descarga y descarga las tuberías se mantienen en frío a través de una línea de recirculación de GNL de 6" de diámetro, la cual vehicula una corriente de GNL desde los tanques utilizando a tal efecto una pequeña porción del GNL almacenado a través de un pequeño depósito de regulación de caudal (D-3004).

El GNL almacenado en los tanques se utiliza para alimentar los vaporizadores de agua de mar que regasifican el GNL, por intermedio de las bombas secundarias que elevan la presión del líquido hasta 80 bar: existen actualmente seis bombas para el gas argelino (P-2001 A/B/C/D/E/F) y otras seis más pequeñas para el gas libio (P-5 A/B/C/D/E/F). A subrayar que en los cuatro tanques más antiguos no existen bombas primarias de trasiego

de líquido ya que el GNL se extrae por gravedad desde la parte baja de la pared lateral o por el fondo del tanque.

En los vaporizadores (los E-2200 A/B/C/D para el gas argelino, y E-200 A/B/C/D para el libio) el gas natural eleva su temperatura por encima de los 0 °C intercambiando calor con agua de mar en circulación continua (circuito abierto). Desde los vaporizadores el gas se envía a la red de gasoductos de ENAGAS a una presión de 72 bar_g, tras su odorización y medición. Existe también un circuito separado para alimentación de la red local de Barcelona a 45 bar_g.

Como todo Terminal de GNL, la Planta de ENAGAS de Barcelona dispone de los elementos de seguridad reglamentarios, así como de las instalaciones auxiliares y de control necesarias para su correcta operación. De estas instalaciones conviene destacar los siguientes sistemas:

Venteo de vapores

Circuito de agua de mar (tuberías de alimentación y retorno y cuarto de bombas)

Sistema de fuel-gas

Generación y almacenamiento de N₂

Suministro de aire comprimido (para instrumentación y producción de N₂)

Almacenamiento y distribución de Agua de Planta

Defensa Contra Incendios (DCI)

Sistemas de Seguridad:

- Detección de fuego (termovoltáicos, de humo y de llama)
- Detección de gas combustible y frío (derrames de GNL)
- Posiciones distribuidas de aviso de emergencia
- Centrales automáticas de seguridad
- Extintores de agua pulverizada, espuma, polvo seco, halón
- Hidrantes y mangueras
- Sistema de Parada de Emergencia (para parada secuencial o total de las unidades de la Planta en caso de anomalías en la operación)
- Sistemas de seguridad secundarios (control de accesos y de perímetro de la Planta, Circuitos de TV, sirena, megafonía, etc.).

2.2 Ampliación del Terminal

El suministro de gas natural se está extendiendo a nuevas zonas de consumo en Cataluña y resto de España, para lo cual las empresas gasistas que operan en el país han contratado el suministro de cantidades adicionales de GNL desde las Plantas de producción de GNL de Arzew y Skikda en Argelia, así como desde las Plantas de Bonny en Nigeria y Point Fortin en Trinidad y Tobago, entre otras. Por ello se hace necesario incrementar la capacidad de almacenamiento de GNL en el terminal de Barcelona, así como la propia capacidad de vaporización del mismo.

El alcance de la primera fase de la ampliación se muestra también en la *Figura 1*, con línea de puntos. En primer lugar se ha construido ya un nuevo atraque para buques metaneros de hasta 140 000 m³, plenamente operativo en la actualidad. Por su parte, la capacidad de vaporización también se está incrementando notablemente. En cuanto al almacenamiento, esta primera fase de la ampliación consiste en la construcción de dos tanques de GNL nuevos (TK-3000 y TK-3001) de 150 000 m³ de capacidad mínima cada uno, cuya construcción está ya muy avanzada.

Una segunda fase de la ampliación del Terminal está actualmente en proyecto y consiste en la construcción de un tercer atraque para buques de hasta 240 000 m³, dos nuevos tanques de GNL de igual tamaño y características que los actualmente en construcción (TK-3002 y TK-3003), así como el aumento complementario de la capacidad de vaporización. Cuando los nuevos tanques estén terminados ENAGAS procederá a dismantelar los dos tanques de 40 000 m³, que llevan en operación cerca de 40 años; la capacidad total de almacenamiento de GNL de la Planta quedará entonces establecida en 760 000 m³.

Las características más importantes de los cuatro tanques nuevos que los diferencian de los tanques operativos actualmente, son las siguientes:

- Capacidad mínima: 150 000 m³
- Tanque aéreo, cilíndrico, de contención total, con pared interior de acero al 9 % Ni y muro exterior de hormigón pretensado
- Penetraciones de tubería en el tanque: se efectuarán por la cúpula exclusivamente, para evitar vaciados accidentales del tanque por problemas en alguna línea
- Cuatro bombas criogénicas (3+1) sumergidas para bombeo primario del GNL

- Evacuación a antorcha de las descargas de gas efectuadas por las válvulas de seguridad por sobrepresión en operación.

En cuanto a la Vaporización del GNL, la ampliación incluirá la instalación de cuatro vaporizadores de agua de mar (E-2200 E/F/G/H) los cuales ya están completados, y otros cuatro (E-2100 A/B y E-3100 A/B) actualmente en construcción. Para alimentar estos vaporizadores a 80 bar de presión (las bombas sumergidas solamente trasvasan el GNL, aumentando poco la presión) se instalaron cuatro bombas secundarias (las P-2001 G y P-3003 A/B/C) las cuales ya están operativas, y se está procediendo a la instalación de otras 4 (P-2001 H y P-3003 D/E/F). Para la segunda fase de la ampliación se contemplan varios escenarios en cuanto a las capacidades adicionales de vaporización de GNL a instalar; en todo caso, la capacidad total instalada no será inferior a 2 millones de m³(n)/h. La decisión final dependerá de la evolución de la demanda de gas en el futuro inmediato.

ENAGAS ha decidido aprovechar esta ampliación de las instalaciones de almacenamiento y vaporización para acometer mejoras en los demás sistemas de la Planta, como son:

- Una unidad de re-compresión de los vapores de GNL que se generan de forma continua en la parte superior de los tanques de almacenamiento de este producto (compresores C-2002 y C-3003), hasta el punto en que se puedan inyectar directamente en la red de 45 bar
- Un sistema de condensación, que permita re-licuar una buena parte del vapor de GNL sobrante durante las descargas de los metaneros por intermedio de: a) un compresor que eleva la presión del vapor, y b) el re-condensador (D-3007) donde circula una corriente de GNL a -160 °C que aporta el frío necesario para licuar el vapor a presión
- Una antorcha que permita deshacerse de forma segura de grandes cantidades de vapores que podrían producirse en una situación de emergencia tal que obligara a dispararse a las válvulas de seguridad por presión excesiva (PSV) de los tanques.

El Proyecto está dedicado exclusivamente al primero de los tanques de GNL adicionales, TK – 3002, el cual supone el número 7 de la Planta de Barcelona. A partir de este momento, el documento se referirá en exclusiva al objeto del Proyecto: un tanque de almacenamiento de GNL de la segunda fase de la ampliación del Terminal.

2.3 Trabajos previos

Con anterioridad al desarrollo de este Proyecto Básico del Tanque, ENAGAS realizó varios estudios de gabinete y trabajos de campo en una fase previa de Ingeniería Conceptual, con el objetivo de poder acometer en las mejores condiciones posibles la presente fase de Diseño Básico. Entre estos trabajos ya realizados en relación con este Proyecto cabe destacar los siguientes:

- Anteproyecto, incluyendo un pre-dimensionamiento genérico de Instalaciones, una descripción y plano de situación de las mismas, un programa de ejecución aproximado y un presupuesto de Inversiones ($\pm 40\%$).
- Estudio de alternativas y selección del emplazamiento de los tanques de GNL y demás instalaciones de la Ampliación de la Planta, teniendo en cuenta las distancias mínimas reglamentarias entre instalaciones en función de las limitaciones existentes en el lugar.
- Estudio Geotécnico inicial, incluida toma de muestras del terreno y análisis de laboratorio (el Informe final se incluye como anexo de este Proyecto, por su relevancia en el diseño del Tanque).
- Análisis de Riesgos, consistente en la realización de un HAZID (Identificación de peligros potenciales) y un ACR (Análisis Cuantitativo de Riesgos), con determinación de las consecuencias de un derrame de producto y las iso-curvas de riesgo.
- Memoria Ambiental sobre el Proyecto de Ampliación, para su presentación al Ministerio de Medio Ambiente, con objeto de concretar la necesidad o no de acometer un Estudio de Impacto Ambiental completo.
- Estudio de Factibilidad técnico-económica, incluyendo un Análisis de Rentabilidad de la inversión a realizar por medio del cálculo de la TIR del Proyecto.

3 DATOS Y CRITERIOS PARA DISEÑO DEL TANQUE

3.1 Bases de Diseño

3.1.1 Condiciones del Almacenamiento de GNL

Tal como se ha indicado, el objeto del Proyecto es un Tanque de GNL de contención total similar al de la *Figura 2*.



Figura 2 Modelo de tanque de GNL similar al del Proyecto

El documento de Datos Básicos recibido del Cliente, ENAGAS, fijaba las siguientes condiciones que debe cumplir el Proyecto, mostradas en la *Tabla 1*:

Tabla 1 Datos Básicos

Capacidad útil del Tanque (mínima)	150 000 m ³ de líquido
Producto almacenado: G.N.L., ρ	455 kg/m ³ (nominal)
Densidad de diseño del producto almacenado, ρ	500 kg/m ³ (máxima posible)
Temperatura de diseño (mínima esperada)	-163 °C
Presión de diseño del tanque exterior	140 mbar
Presión de servicio (vapor)	60 mbar
Depresión máxima admisible	- 4 mbar
Evaporación media de GNL en el tanque	0,05 %/día
Temperatura ambiente (para cálculos de vaporización)	35 °C
Relación gas vaporizado / líquido	590 m ³ (n)/m ³
Caudal de llenado del tanque (bombas del buque)	12 000 m ³ /h desde atraque existente para buques de hasta 140 000 m ³
	18 000 m ³ /h en atraque futuro, para buques del tipo Q-max con capacidades de 220 000 m ³ y superiores. Este caudal, por lo tanto, es el caudal nominal de diseño para el proyecto.
Emisión de gas en vaporizadores	200 000 m ³ (n)/h

3.1.2 Cargas externas aplicables

Están predeterminados los siguientes esfuerzos que se deben considerar al efectuar los cálculos estructurales:

A) Techo:

- carga propia distribuida: 50 kg/m^2
- carga por nieve (Reglamento Español de Construcción): 25 kg/m^2
- carga concentrada (dato Cliente): 250 kg/m^2

B) Pared externa, por viento: 144 km/h máximo, equivalente a 40 m/s ; lo que implica una carga distribuida de $v^2/16 = 100 \text{ kg/m}^2$ en superficie plana, y (norma UNE MV-101) $= 0,8 \cdot 100 = 80 \text{ kg/m}^2$ en superficie curva.

C) Diseño sísmico: será según la Norma de Construcción Sismorresistente española (NCSE-02). La Norma es de aplicación forzosa a cualquier edificación en lugares donde los valores del coeficiente horizontal sean superiores a $0,08$ en caso de edificaciones normales, o $0,04$ cuando se trate de estructuras especiales. *(Nota.- Este coeficiente es el número que multiplicado por g nos da la aceleración básica en sentido horizontal característica de un seísmo con un periodo de retorno de 500 años, según los datos de la serie histórica; también se puede expresar como una aceleración: $0,05 g$).* La Norma es de aplicación al proyecto del tanque -que se debe considerar como una estructura especial- ya que según el mapa de Riesgo Sísmico de España, editado por el Instituto Geográfico Nacional, a Barcelona le corresponde un coeficiente horizontal de $0,05$.

D) Prueba hidráulica del tanque interior: se realizará con agua hasta una altura equivalente a $1,25$ veces la presión hidrostática máxima del GNL.

E) El aislamiento del tanque se calculará de forma que el calor transmitido al interior en las peores condiciones térmicas sea inferior al que produce una vaporización de $0,05 \%$ del GNL almacenado, por día.

3.2 Dimensionamiento básico del depósito

3.2.1 Nivel del líquido

Dado que el volumen de GNL almacenado en un tanque es proporcional a su altura y al cuadrado de su diámetro, en principio parece más interesante aumentar el diámetro para alcanzar un mayor volumen en el tanque. Sin embargo, al aumentar el diámetro D , el

perímetro del tanque aumenta como πD , lo que encarece notablemente el coste del tanque ya que ese perímetro es la longitud de la pared de acero al 9 % Ni. Además habrá que tener en cuenta otras limitaciones al aumento del diámetro, como pueden ser el necesario reforzamiento de la placa de cimentación (la cual trabaja a flexión, además de compresión), el aumento del espesor y armado de la cúpula de hormigón (lo que además aumenta su peso y obliga a reforzar la pared exterior del tanque que la soporta), la superficie del terreno a utilizar o las distancias de seguridad a otras instalaciones. En definitiva, la relación diámetro / altura en un tanque de GNL se elige de forma empírica, dependiendo de las condiciones del lugar, los precios de los materiales en el momento de su construcción y el volumen del mismo.

En nuestro caso, de entrada se elige una relación entre Diámetro y Altura del tanque interior tal que $R_{ti} = 0,75 \cdot H_{ti}$. Esta relación se ha mostrado históricamente la más favorable desde el punto de vista económico para los constructores de tanques, en tanques de este tamaño. En ese sentido, ENAGAS por su parte solamente requiere que la altura del tanque sea siempre superior al radio del mismo.

Para obtener valores concretos se tiene en cuenta que la altura útil del tanque debe contener no menos de 150 000 m³ (ver *Figura 3*).

Una parte del volumen del tanque debe dejarse como talón de líquido en el fondo para que no se desceben las bombas. Puesto que el fabricante de las mismas (EBARA) recomienda una altura mínima del líquido de 1,6 m, situando una *alarma de nivel bajo de líquido* 1 m por encima de ese valor, con la parada automática del vaciado en un punto intermedio, queda una altura para el talón de 2,6 m (ver más detalles en el *Apartado 5.4*, dedicado a la Instrumentación del tanque).

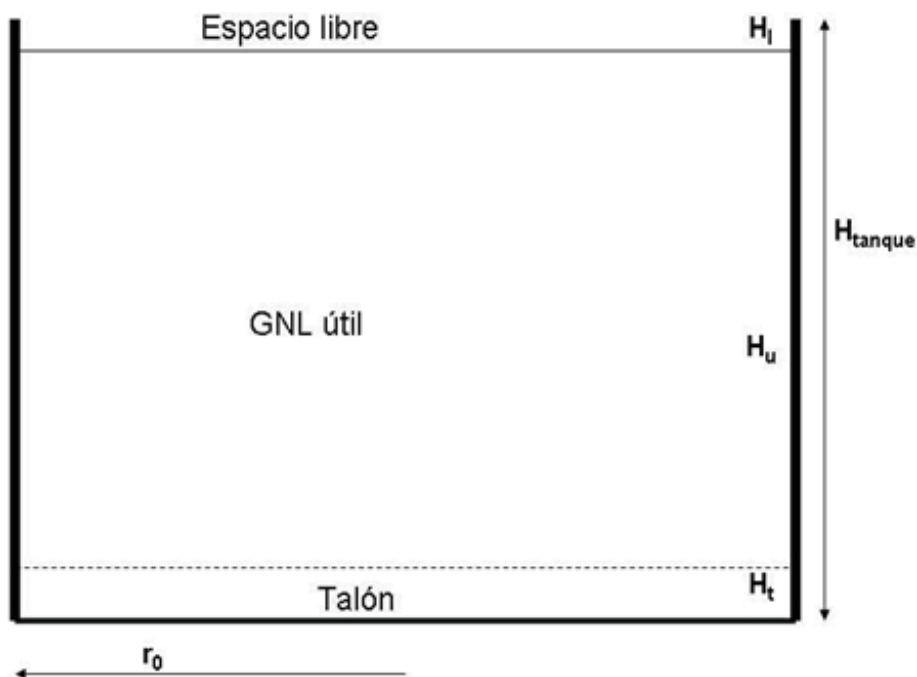


Figura 3 Esquema dimensional del tanque interior

Para obtener la altura total del tanque interior, a la altura del talón más la útil del líquido tenemos que añadirle una altura libre de líquido para contener la altura máxima que puede alcanzar la ola generada en el seísmo de diseño, más una distancia de seguridad por posible sobrellenado de GNL y las alarmas, tal como sigue:

- El cálculo de la ola máxima en caso de seísmo que se realizó para un tanque de igual diámetro en las condiciones sísmicas de Barcelona (de acuerdo con la Norma Sismorresistente, NCSE-02) daba un resultado que no sobrepasaba los 40 cm para tanques de estas dimensiones.
- Los sistemas de cierre de válvulas previstas en el diseño de las instalaciones permiten asegurar que no se producirán sobrellenados superiores a 8 cm en ningún caso, una vez comenzado el cierre de las mismas. Adoptando un coeficiente de seguridad de 2, la altura adicional necesaria resulta ser de 15 cm.
- La *alarma por nivel excesivo de líquido* se sitúa 20 cm por debajo de los dos anteriores (este nivel corresponde a la parada de llenado), y la *pre-alarma* (nivel que inicia la preparación de la parada) a otros 15 cm.

Con todo ello resulta una altura libre necesaria en la parte superior del tanque de 90 cm.

3.2.2 Altura y radio del depósito interior

Con los datos anteriores, en total, resultan las siguientes 3 ecuaciones:

$$\pi \cdot r_0^2 \cdot H_u = 150000$$

$$r_0 = 0,75 \cdot H_t$$

$$H_t = H_u + 2,6 + 0,9$$

Resolviendo, resultan los siguientes valores aproximados (por exceso):

$$r_0 = 34,0 \text{ m}$$

$$H_t = 45,5 \text{ m.}$$

Estos valores son las dimensiones del tanque “en caliente”, o sea a la temperatura ambiente. Tenemos que calcular los valores “en frío” durante la operación normal de las instalaciones. Para ello sabemos que la contracción de un material de longitud L debida a un decremento de temperatura ΔT vale:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T,$$

donde α = coeficiente de dilatación lineal del material ($^{\circ}\text{C}^{-1}$), que para el acero al 9% Ni vale $\alpha = 9,2 \cdot 10^{-6}$. Se tiene entonces que la contracción que experimenta la pared de acero a todo lo largo de su circunferencia es:

$$\Delta L = 9,2 \cdot 10^{-6} (2 \cdot \pi \cdot 34) \cdot (163+25) = - 0,37 \text{ m.}$$

De donde resulta que la circunferencia metálica en operación mediría casi 40 cm menos; por lo tanto el radio del tanque “en frío” resulta ser (circunferencia = $2 \cdot \pi \cdot r$):

$$r_0 = 33,94 \text{ m}$$

Igualmente se calcula la contracción en altura, que resulta ser de unos 8 cm, con lo que la altura del tanque “en frío” es realmente:

$$H_f = 45,42 \text{ m.}$$

De donde resulta que la altura útil de GNL en el tanque es realmente de:

$$H_u = H_f - H_t - H_l = 41,92 \text{ m.}$$

A efectos de verificación el Volumen útil resulta ser:

$$\underline{\text{Vol. GNL}} = \pi \cdot r_0^2 \cdot H_u = 151\,700 \text{ m}^3.$$

Este valor está por encima del mínimo requerido de $150\,000 \text{ m}^3$. Por lo que los valores seleccionados son adecuados en primera aproximación, a falta del cálculo estructural definitivo que se efectúa en el *Capítulo 4*.

3.2.3 Otras consideraciones

El depósito interior se diseñará para soportar la presión hidrostática del GNL y los esfuerzos térmicos por la temperatura criogénica del producto. Por su parte el tanque exterior se dimensiona para soportar la presión interior del vapor de GNL y el empuje de la perlita, verificándose su resistencia para el caso excepcional de que el líquido inunde el tanque exterior tras la rotura del interno.

El tanque dispondrá de dos tuberías de llenado del GNL proveniente de los buques, ambas penetrando a través del techo, una de las cuales descargará en el fondo del tanque y la otra lo hará por encima del nivel máximo de líquido. El objetivo de esta disposición dual es el de promover la mezcla del producto almacenado, evitando la formación de estratos (“envejecimiento”) de líquido de distinta densidad que aparecen con el tiempo, con el consiguiente peligro de “roll-over”.

En cuanto a la descarga de producto con destino a vaporizadores, esta se realizará por medio de tres bombas criogénicas sumergidas en el GNL, aunque se instalará una cuarta bomba de respeto y para recirculación del GNL; cada línea de descarga estará provista de una válvula de seccionamiento y control.

La evacuación del vapor generado por el GNL para su recuperación en las instalaciones de la Planta, se hará por medio de una tubería a través del techo del tanque. Los cálculos para determinar el volumen de vapor generado en el tanque tienen en cuenta la temperatura ambiente y la presión atmosférica en la Planta, asumiéndose que el vapor consiste en metano puro y que la temperatura de la parte superior de la losa en contacto con la base del tanque es de 7 °C (peor caso).

El tanque se instalará próximo a los tanques actualmente en construcción, en una ligera depresión del terreno que actúa como cubeto destinado a contener eventuales derrames de GNL. Aunque los requisitos de la norma NFPA 59A para caso de rotura catastrófica de los tanques se cumplen con la doble pared de que disponen cada uno de ellos, ENAGAS ha dimensionado ese cubeto exterior para que pueda contener la totalidad del líquido almacenado en uno de los tanques, como precaución adicional.

3.3 Componentes principales del tanque

Se pretende construir un tanque de doble pared y contención total (con barrera secundaria de vapor) usando hormigón pretensado para el muro externo, así como también en la cúpula del techo, y acero al 9 % Ni para la pared interior. Todo ello soportado en una losa de hormigón armado como base.

3.3.1 Cimentación

El tanque se instalará en un terreno saneado y horizontal, sobre el cual se realizará la precarga del mismo con anterioridad a la ejecución de la obra, para eliminar cualquier posibilidad de asientos diferenciales excesivos. La cimentación consistirá en una losa de hormigón armado soportando el tanque, con una zapata anular bajo las paredes del mismo.

El diseño de la cimentación en este proyecto está basado en las recomendaciones del Informe Geotécnico del suelo realizado por la Compañía, una copia del cual se adjunta en el Anexo C. En todo caso, el Contratista adjudicatario de la construcción del tanque estará obligado a verificar las condiciones del suelo mediante una campaña geotécnica propia antes de proceder a la ejecución de la cimentación.

Para evitar la congelación del terreno bajo el tanque se dispondrá de un sistema de calefacción radiante instalado en la losa de cimentación que se ubica en el subsuelo bajo el tanque, de forma que se garantice que la temperatura del terreno nunca descienda por debajo de 0 °C durante la operación normal de la Planta. El sistema será dimensionado para que, por otro lado, la temperatura de la parte superior de la losa en contacto con la base del tanque no sobrepase los 7 °C, con objeto de evitar la formación excesiva de vapor en el interior del tanque.

En el presente proyecto se calcula la potencia eléctrica necesaria y el número de circuitos a instalar. El sistema de calefacción instalado debe ser resistente al ambiente salino.

3.3.2 Muros y techo

Desde el punto de vista resistente, en cualquier tanque de líquidos almacenados a presión cuasi atmosférica el esfuerzo hidrostático sobre la pared interna se traduce en tensiones de tracción horizontales en el interior de la misma. Por otro lado, los regímenes térmicos transitorios durante la operación de puesta en frío y llenado del tanque inducen

contracciones verticales de la pared, las cuales además son más importantes en el lado interno de la pared, lo que implica la aparición de tensiones de compresión diferenciales en ese sentido, como un esfuerzo de flexión a lo ancho de la pared pero cuyo componente compresivo es más importante que el de tracción. El acero es el material ideal para ese tipo de tensiones.

En cuanto a la pared exterior, se construye de hormigón armado ya que no estará sujeta a esas cargas normalmente. Solamente en caso de rotura catastrófica del tanque interior el GNL tendría que ser contenido por el muro exterior; en esos casos, el pretensado del hormigón armado permite mejorar notablemente la resistencia del hormigón frente a los dos problemas de tracción y flexión mencionados anteriormente ya que, en primer lugar la pre-tensión aplicada horizontalmente durante la construcción actúa en el sentido de comprimir la sección resistente del hormigón, por lo que cuando posteriormente se llene el tanque en la emergencia y aparezcan las tensiones de tracción, ambas tensiones se compensan. En segundo lugar, el pre-tensado vertical de la pared que se ejecuta durante la obra, deja los alambres (o tendones) de acero sometidos a tracción, por lo que cuando aparecen los transitorios térmicos de tipo compresivo en la emergencia, los tendones los soportan perfectamente.

Además de lo mencionado anteriormente, tanto el hormigón como el acero usados en los muros pretensados son de características resistentes muy superiores a los usados en hormigón armado estándar; así el hormigón puede ser 1,5 a 2 veces más resistente, y el acero hasta 6 veces superior al de los alambres normales.

Finalmente, conviene mencionar el problema que representaría, en ese caso excepcional de emergencia, la posible penetración del GNL en el interior del hormigón a través de fisuras microscópicas existentes en ese material, con el consiguiente peligro de oxidación y deterioro de los alambres de acero. Sin embargo, la aptitud del hormigón pretensado en servicio criogénico está comprobada, y en el caso particular del GNL su utilidad se ha demostrado en numerosas pruebas de estanqueidad, en Corea, EE.UU. y otros países.

3.3.3 Instalaciones

El tanque estará provisto de las siguientes instalaciones:

- Bombas criogénicas sumergidas, incluidos los mecanismos de elevación necesarios para su mantenimiento, los pozos donde se instalan y todos los demás elementos auxiliares
- Tuberías de llenado de los tanques (una superior, una inferior), de recirculación de GNL, de alimentación a bombas secundarias, de circulación del vapor de GNL, y todas las demás necesarias para aire de instrumentación, suministro de nitrógeno, etc., desde el interior del tanque hasta el límite de batería, en la base del tanque. Todas ellas provistas de sus correspondientes válvulas de seccionamiento, de control y necesarios by-pases, así como del aislamiento requerido según la temperatura de funcionamiento
- Estructuras y soportes de tuberías, plataformas, escaleras, raíles, pasarelas y todo el acero estructural necesario
- Válvulas de protección de sobrepresión y vacío
- Instrumentación para medición de presión, temperatura y nivel de GNL, detección de fugas y control de enfriamiento
- Sistema de detección y control de fuegos
- Sistema de calentamiento en la base del tanque, para evitar el congelamiento del terreno
- Todo el cableado necesario para las bombas criogénicas, la instrumentación y el sistema de calentamiento, incluidas bandejas y conexiones.

3.4 Características de materiales

3.4.1 Hormigón (pretensado y armado)

- Resistencia característica del hormigón a los 28 días: 300 kg/cm^2 en muros y cúpula; 200 kg/cm^2 en la zapata de cimentación y losa del fondo.
- Esfuerzo de compresión admisible durante la puesta en tracción de los alambres: $300/1,6 = 188 \text{ kg/cm}^2$
- Coeficiente de contracción térmica del hormigón = $0,80 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$ a temperatura ambiente; $0,64 \cdot 10^{-5} \cdot \text{K}^{-1}$ a temperatura criogénica.
- Alambres de pretensado (horizontales):
 - Diámetro: 5 mm ($\pm 0,05$ mm de tolerancia)

- Resistencia a la rotura del acero: 1450 MPa (208 000 psi)
 - Tracción inicial admisible: $0,8 \cdot 145 = 116 \text{ kg/mm}^2$
 - Tracción recomendada: 105 kg/mm^2
- Alambres verticales: según sistema de pretensado elegido (ver Bibliografía: Guía del P.C.I.: Fundamentals of prestressed concrete design).
- Armaduras corrientes:
- Límite elástico del acero: 400 MPa
 - Esfuerzo de tracción admisible (Guía P.C.I. citada): $42 \cdot 0,67 = 28 \text{ kg/mm}^2 = 280 \text{ MPa}$.

3.4.2 Elementos metálicos

Chapa de acero al 9 % Ni: según ASTM A553

Otros aceros inoxidable (rigidizadores y tensores de techo): según ASTM A353

Chapa de aluminio: según ASTM B209

Chapa de acero al carbono: según API 620, Apéndice Q

Tuberías criogénicas: según API 620, Apéndice Q. También es aceptable el acero de alto contenido de Ni, según ASTM B619 y B622, cuando no se encuentre disponible la tubería menos aleada.

3.4.3 Aislamientos

Perlita expandida (a utilizar en el espacio existente entre el muro externo y la pared interior, y que será inyectado desde el exterior):

- Densidad promedio = $87,5 \text{ kg/m}^3$
- Conductibilidad térmica, $\lambda = 0,04 \text{ W/(m K)}$ (a $-80 \text{ }^\circ\text{C}$, la temperatura criogénica media)

Paneles Klegecell, o similares (a colocar en el fondo; con un mínimo de 3 capas intercaladas con papel de aluminio para cortar las corrientes de convección):

- Densidad: 40 kg/m^3
- Conductibilidad térmica, $\lambda = 0,02045 \text{ kcal/(m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C)}$ (a $-80 \text{ }^\circ\text{C}$)

Mantas de lana mineral –fibra de vidrio - tipo Rockwool o similar (a instalar depositadas encima del techo suspendido de aluminio):

- Densidad: 35 kg/m^3 a 40 kg/m^3

- Conductibilidad, $\lambda = 0,026 \text{ kcal}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$ (a -80°C).

3.5 Criterios de Diseño

3.5.1 Generalidades

El Proyecto deberá cumplir todos los requisitos de las Leyes de Protección del Medio Ambiente y de los Reglamentos de Seguridad y Salud Laboral vigentes en el país. Adicionalmente, y a falta de un Reglamento específico sobre este tipo de instalaciones en España, el diseño, la construcción y la operación de la ampliación de la Planta de Barcelona se regirá por la norma N.F.P.A 59A “Producción, Almacenamiento y Manipulación de Gas Natural Licuado”, que es el código de referencia para la mayoría de las instalaciones de GNL existentes en el mundo.

El diseño y la instalación de los distintos componentes del Tanque deberán seguir los Reglamentos vigentes y las Normas aplicables señaladas por la Propiedad, así como las propias especificaciones técnicas y condiciones especiales que ENAGAS incluya en el Pliego de Condiciones del Proyecto. En las secciones que siguen indicamos los criterios a considerar en cada caso.

3.5.2 Análisis de Riesgos y de Impacto ambiental

Previamente a la Ingeniería Básica ya se realizó un Análisis de Riesgos relativo a las instalaciones de la ampliación, el cual confirmó la idoneidad de los emplazamientos elegidos para aquellas (incluido el tanque objeto de este Proyecto) en lo que concierne a la seguridad de los trabajadores e integridad de las instalaciones de la Planta de Barcelona, en primera instancia, así como de los habitantes de la zona e industrias aledañas.

Durante la etapa de Ingeniería Básica se realizarán el Análisis Detallado de Riesgos y el Estudio de Impacto Ambiental (si procede), necesarios ambos para la solicitud de los Permisos de Autorización de las Instalaciones de la Consejería de Industria de la Generalitat de Catalunya y de Impacto Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente.

El Análisis de Riesgos tendrá más o menos el siguiente alcance:

- Normativa de Seguridad y Reglamentos aplicables
- Descripción de las Instalaciones
- Naturaleza de los Riesgos y Accidentes creíbles
- Determinación de Frecuencias de los Sucesos

Análisis de Consecuencias

Distancias de Seguridad

Medidas de Prevención durante el diseño, la construcción y la operación

Mitigación de Accidentes y Métodos de Protección

Planes de Emergencia interior y exterior.

Por su parte, y en función de lo que dictamine el Ministerio, el E.I.A. debería incluir los siguientes capítulos:

Legislación y Normativa

Descripción de la planta y actividades durante su construcción y operación

Características del Entorno: meteorología, geología, hidrología, oceanografía, ecología terrestre y marina, recursos económicos y socio-culturales, servicios, ...

Identificación de impactos ambientales: polución del aire, emisiones acústicas, impacto visual, contaminación de aguas, materiales tóxicos, residuos sólidos, tráfico, erosión de costas, ...

Determinación de Niveles Admisibles de emisiones

Plan de Seguimiento y Control Medioambiental

Tratamiento de Emergencias.

Tanto en un caso como en otro, las conclusiones que se obtengan y las recomendaciones a seguir serán de obligado cumplimiento por el Contratista adjudicatario de los trabajos, el cual las deberá tener en cuenta cuando prepare su oferta.

3.5.3 Normativa aplicable

En cuanto al Tanque de almacenamiento de GNL en particular, se adopta como Norma básica de referencia para su diseño y construcción la API 620 “Diseño y Construcción de tanques de almacenamiento grandes de baja presión, soldados” - Apéndice Q; utilizándose como Norma complementaria la EN - 1473. A un nivel inferior, tanto el diseño y la fabricación de equipos y materiales como los trabajos de construcción en el emplazamiento deben cumplir con la normativa aplicable de ASME, API, NFPA, ASTM, ..., así como con las especificaciones técnicas particulares del Proyecto.

Para ser más precisos listamos a continuación las normas aplicables en cada caso.

- Tanque:

- API 620 – Appendix Q: Low-pressure storage tanks for liquefied hydrocarbon gases; 2004
- EN-1473 (or BSI-7777): Installation and equipment for liquefied natural gas. Design of onshore installations; 2007
- NCSE-94 (Min. Fomento): Norma de construcción sismorresistente. Parte general y edificación; 1994
- ACI-376: Design and construction of concrete structures for the containment of refrigerated liquefied gases; 2010
- NTE-CSL (MOPU): Normas tecnológicas de la edificación. Cimentaciones superficiales. Losas; 1984.
- Tuberías:
 - ASME B31.3: Process piping; 2004
 - ASTM B619: Welded Ni and Ni-Co alloy pipe
 - ASTM B622: Seamless Ni and Ni-Co alloy pipe and tube
 - ASME B16.5: Pipe flanges and flange fittings
 - ASME B16.11: Forged steel fittings.
- Materiales:
 - ASTM A353: Pressure vessel plates; alloy steel 9 % Ni, double-normalized and tempered
 - ASTM A553: Pressure vessel plates; alloy steel 9 % Ni, quenched and tempered
 - ASME Boiler and pressure vessel code, Section II “Material specifications” (parts: A, Ferrous materials; C, Welding rods, electrodes and filler metals)
 - ASTM B209: Aluminum and aluminum-alloy sheet and plate
 - ASTM C549: Perlite loose fill insulation.
- Dispositivos de seguridad:
 - NFPA 59A: Production, storage and handling of liquefied natural gas; 2011
 - API 2000: Venting atmospheric and low-pressure storage tanks
 - BSI 6651: Protection of structures against lightning
 - API 520: Sizing, selection and installation of pressure-relieving devices in refineries; 2008

- EN-12845: Sistemas fijos de lucha contra incendios
- Electricidad:
 - Reglamento electrotécnico de baja tensión (Min. Industria y Energía)
- Instrumentación:
 - ISA-84.01: Functional safety, SIS (Safety Instrumented Systems) for the process industry, 2004
 - ISA MC96.1: Temperature measurement thermocouples
 - API RP 550: Installation of refinery instruments and control systems
 - API 526: Flanged steel pressure relief valves.

4 CÁLCULOS ESTRUCTURALES

4.1 Depósito interior

4.1.1 Presión hidrostática del GNL

La pared del tanque interior será de acero al 9 % Ni y estará dimensionada para absorber todo el esfuerzo de tracción generado en la pared debido a la presión hidrostática del GNL contra la misma, tal como se puede apreciar en la *Figura 4*. La presión (P) en cada nivel equivale al peso de la columna de GNL por encima de ese nivel; o sea:

$$P \text{ (expresada en m de columna de agua)} = H \cdot G,$$

donde H = profundidad del líquido y G = Densidad relativa del GNL respecto al agua.

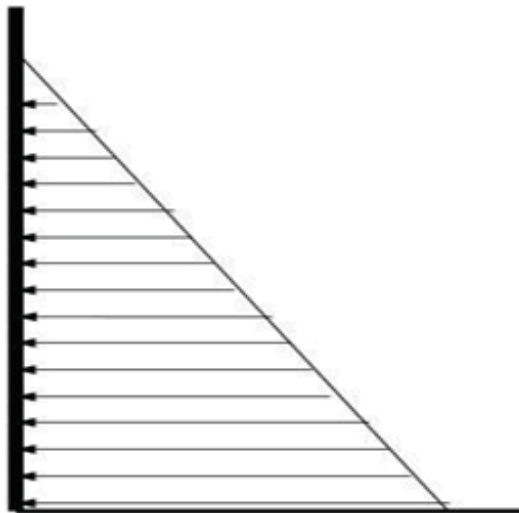


Figura 4 Presión hidrostática sobre la pared interior de acero al 9% Ni

La presión interior en cada nivel del líquido es soportada por el tanque cilíndrico, de la misma manera que en el caso de una tubería delgada sometida a presión interior (ver *Figura 5*); de forma que la sección resistente –o sea dos veces el espesor t de la pared de acero- debe soportar la totalidad de las fuerzas externas sobre la pared –o sea la presión hidrostática del tanque interior-. Por ello, la fórmula de Barlow desarrollada para tuberías, también es de aplicación en este caso, y así la resistencia última de la pared ($2 t S_y C$) debe igualar el valor máximo que pueden alcanzar las fuerzas que actúan contra la pared ($p D$); o sea:

$$2 \cdot t \cdot S_y \cdot C \text{ (tensión en el material de la pared)} = p D \text{ (fuerzas internas contra la pared), donde}$$

- t = espesor de pared
- S_y = Límite elástico del acero al 9 % Ni
- C = factor de soldadura (= 1 en soldaduras a tope)
- p = presión hidrostática
- D = diámetro exterior del cilindro (donde está la fibra más estirada).

Despejando de la ecuación, se obtiene el espesor mínimo que tiene que tener la pared de acero para la presión a cada nivel:

$$t = p D / (2 S_y)$$

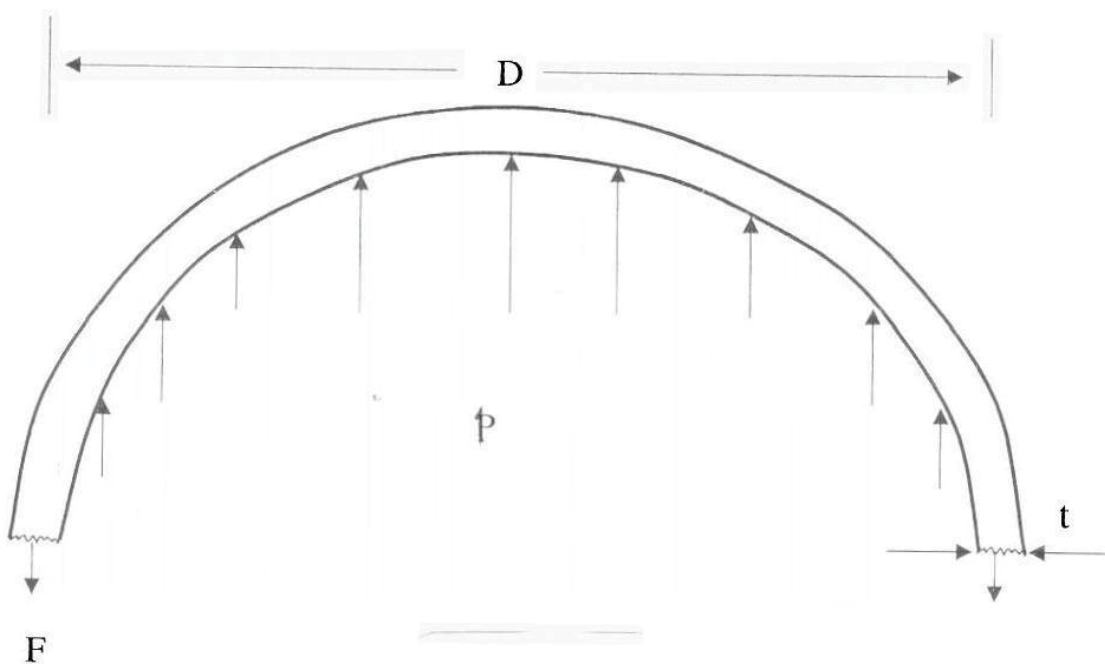


Figura 5 Equilibrio de fuerzas en la pared de un cilindro delgado a presión

Este es el espesor teórico para no superar el límite elástico del material. Las normas aplicables al diseño de los tanques dan fórmulas prácticas que incorporan ya un coeficiente de seguridad en el cálculo del espesor. En el tanque objeto del proyecto, la norma aplicable es la API 620 – Apéndice Q, la cual remite para este cálculo a la API 650 en uno de cuyos apéndices se formula la ecuación de Barlow de la siguiente manera para tanques cilíndricos de acero soldados a tope:

$$t = 4,9 D (H-0,3) G / S_y,$$

ecuación que ya lleva incorporado un coeficiente de seguridad superior a 2,0 respecto al cálculo teórico, como se verá en el *Apartado 4.1.2*.

4.1.2 Cálculo de los espesores de la pared de acero al 9 % Ni

Las principales propiedades del acero al 9 % Ni son las siguientes:

- Límite elástico: $S_y = 585$ MPa; Resistencia a la tracción: $R = 690$ MPa
- Coeficiente de Dilatación: $\alpha = 9 \cdot 10^{-6}$ K
- Conductividad térmica: $\lambda = 25$ W/(m K)
- Peso específico: $\rho = 7\,850$ kg/m³

Por su parte los fabricantes de chapa de acero al 9 % Ni tienen en catálogo las siguientes dimensiones disponibles para las chapas:

-espesores: de 6 mm a 90 mm

-longitudes: 6 m a 20 m

-anchuras: 1,6 m a 3,8 m

La norma API 650 recomienda anchuras mínimas de chapa de 1,8 m, y lo normal en tanques de GNL es que se utilicen chapas de 2,4 m de ancho y 10,2 m de longitud, para facilitar su manipulación en obra. En ese caso, la pared de nuestro tanque requerirá $45 / 2,4 = 18,75$ filas (llamadas virolas) longitudinales, o sea 19 virolas. Por ello la altura final del tanque en caliente será:

$$H_{\text{tanque}} = 19 \cdot 2,4 = 45,6 \text{ m.}$$

En cuanto a la circunferencia, $2 \cdot \pi \cdot R$, requiere 20,94 chapas de 10,2 m de longitud, o sea 21 chapas en cada virola. Lo que da una circunferencia real en caliente de 214,2 m, y un radio del tanque de

$$r_{\text{tanque}} = 214,2 / 2 \cdot \pi = 34,1 \text{ m.}$$

Los valores correspondientes en operación, tras aplicar la contracción por frío -según la fórmula $\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$ ya mencionada-, serían:

$$H_{\text{tanque}} = 45,52 \text{ m (en operación)}$$

$$r_{\text{tanque}} = 33,94 \text{ m (en operación).}$$

A efectos de verificación, podemos comprobar que con estos valores reales de construcción los volúmenes correspondientes resultan ser los siguientes:

-Volumen total del tanque: 164 731 m³

-Volumen útil de GNL: 152 065 m³ (superior al mínimo requerido)

-Talón de GNL: 9 409 m³

-Volumen total de GNL: 161 474 m³

-Espacio libre superior: 3 257 m³.

Se puede comprobar que el volumen que se “pierde” por la contracción del acero es inferior a 1 000 m³.

El peso del volumen total de GNL que puede contener finalmente el tanque a construir sería:

$$\text{Peso GNL} = (152\,065 + 9409) \cdot 0,5 = 80\,737 \text{ t.}$$

Completamos a continuación el cálculo estructural de la pared del tanque interior procediendo al cálculo de los espesores de pared de cada virola. Puesto que ya conocemos la altura que alcanzará cada virola, así como la altura del líquido en cada una de ellas, sabemos la presión que soporta cada una y podremos determinar el espesor del acero por medio de la fórmula de Barlow, o la de API 650. En la *Tabla 2* se muestran los valores obtenidos en ambos casos.

Las fórmulas utilizadas para estos cálculos han sido las ya conocidas:

$$t_{\text{API}} = 4,9 D (H - 0,3) G / S_{y\text{min}} \text{ (columna 4 en la } \textit{Tabla 2}\text{), con}$$

$$D \text{ (diámetro)} = 33,94 \cdot 2 \text{ m,}$$

$$H = \text{altura del líquido en cada virola (columna 3 en la } \textit{Tabla 2}\text{),}$$

$$G \text{ (densidad relativa del GNL respecto al agua)} = 0,5$$

$$S_{y\text{min}} \text{ (característica mecánica del material)} = 276 \text{ MPa (por seguridad se elige el valor más bajo entre } 2/3 S_y = 390 \text{ MPa, y } 2/5 R = 276 \text{ MPa);}$$

y, por otro lado:

$$t_{\text{teórico}} = \rho_{\text{GNL}} g H 2 r / S_y \text{ (columna 6 de la } \textit{Tabla 2}\text{), con}$$

$$\rho_{\text{GNL}} = 500 \text{ kg/m}^3$$

$$r = 33,94 \text{ m}$$

$$S_y = 585 \text{ MPa.}$$

El coeficiente de seguridad (columna 7) es la relación entre los espesores seleccionados y el espesor teórico en cada caso. Tal como se aprecia esta es superior a 2,0 en todos los casos, por lo que se cumple los requisitos del cliente y del Reglamento.

Tabla 2 Cálculo de espesores de acero

Virola n°	Altura chapa (m)	Profundidad líquido (m)	Espesor API 650 (mm)	Espesor elegido (mm)	Espesor teórico (mm)	Coefficiente de seguridad
19	43,2	1,9	1,0	6,0	0,5	12,0
18	40,8	4,3	2,4	6,0	1,2	5,0
17	38,4	6,7	3,9	6,0	1,9	3,1
16	36,0	9,1	5,3	6,0	2,6	2,3
15	33,6	11,5	6,8	6,8	3,3	2,1
14	31,2	13,9	8,2	8,2	4,0	2,1
13	28,8	16,3	9,7	9,7	4,6	2,1
12	26,4	18,7	11,1	11,1	5,3	2,1
11	24,0	21,1	12,6	12,6	6,0	2,1
10	21,6	23,5	14,0	14,0	6,7	2,1
9	19,2	25,9	15,5	15,5	7,4	2,1
8	16,8	28,3	16,9	16,9	8,1	2,1
7	14,4	30,7	18,4	18,4	8,7	2,1
6	12,0	33,1	19,8	19,8	9,4	2,1
5	9,6	35,5	21,2	21,2	10,1	2,1
4	7,2	37,9	22,7	22,7	10,8	2,1
3	4,8	40,3	24,1	24,1	11,5	2,1
2	2,4	42,7	25,6	25,6	12,2	2,1
1	0,0	45,1	27,0	27,0	12,8	2,1

Para calcular el peso de las virolas, y el de la pared en su totalidad, aplicamos la fórmula:

$$W = \rho \cdot \pi \cdot 2 \cdot r \cdot h \cdot (t/1000),$$

donde h es la altura de la chapa y t el espesor elegido, con lo que:

$$W = 7\,850 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 34 \cdot 2,4 \cdot t/1000$$

Sustituyendo t se van obteniendo los valores que figuran en la última columna de la *Tabla 3*. El sumatorio del peso de todas las virolas nos permite obtener el peso total de la pared del tanque interior de acero al 9 % Ni, que resulta ser de 1 117,57 t.

Tabla 3 Cálculo del peso del tanque interior

Virola n°	Altura chapa (m)	Espesor elegido (mm)	Peso de cada chapa (kg)	N° de chapas por virola	Peso de la virola (kg)
19	43,2	6,0	1 150	21	24 151
18	40,8	6,0	1 150	21	24 151
17	38,4	6,0	1 150	21	24 151
16	36,0	6,0	1 150	21	24 151
15	33,6	6,8	1 303	21	27 371
14	31,2	8,2	1 572	21	33 007
13	28,8	9,7	1 859	21	39 046
12	26,4	11,1	2 128	21	44 682
11	24,0	12,6	2 415	21	50 721
10	21,6	14,0	2 684	21	56 358
9	19,2	15,5	2 971	21	62 398
8	16,8	16,9	3 240	21	68 035
7	14,4	18,4	3 527	21	74 076
6	12,0	19,8	3 796	21	79 713
5	9,6	21,2	4 064	21	85 351
4	7,2	22,7	4 352	21	91 392
3	4,8	24,1	4 621	21	97 031
2	2,4	25,6	4 908	21	103 073
1	0,0	27,0	5 177	21	108 712
				TOTAL	1 117 569

Por último es conveniente señalar las longitudes de chapa a soldar en obra (19 virolas en total, de chapas de 10,2 m x 2,4 m), que en este caso resultan ser:

-Soldadura horizontal: 4 059 m

-Soldadura vertical: 958 m.

4.1.3 Techo colgante de Aluminio

El tanque interior se cierra por arriba con un techo plano de aluminio de 5 mm de espesor (mínimo requerido), colgando de la cúpula del tanque externo por medio de tirantes de acero inoxidable. ENAGAS ha especificado que la distancia horizontal entre techo y pared nunca sea inferior a 30 cm; puesto que el radio del tanque es de 34 m en caliente, el radio del techo de Al será en principio de 33,7 m. Para verificar como sería la situación “en frío”, compararemos la contracción del tanque con la del techo; esta última se calcula por la fórmula ya conocida de $\Delta L = \alpha \cdot \Delta T \cdot r$, donde α es el coeficiente de dilatación del Al: $\alpha = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Luego, en este caso la contracción del radio del techo será:

$$\Delta r = 2,4 \cdot 10^{-5} \cdot (25+163) \cdot 33,7 = 0,15 \text{ m.}$$

Y el radio en operación normal será: $33,7 - 0,15 = 33,55 \text{ m}$. Puesto que el radio del tanque en frío era de 33,94, la diferencia entre ambos resulta de 39 cm, lo cual está por encima del mínimo requerido de 30 cm y el diseño queda así confirmado.

Al ser el espesor del techo de Al 5 mm y su peso específico $\rho = 2700 \text{ kg/m}^3$, el peso total del mismo es:

$$\text{Peso} = \pi \cdot 33,7^2 \cdot (5/1000) \cdot 2700 = 48140 \text{ kg.}$$

Además de la plataforma de Al, tenemos colgando de la bóveda superior del tanque los tirantes que sujetan la plataforma y las mantas de fibra de vidrio (9 capas de 100 mm cada una), lo que en total se estima como un 10 % adicional del peso de la plataforma. En total el peso de plataforma y elementos auxiliares alcanza 53 000 kg.

4.1.4 Fondo del tanque interior

El tanque se cierra por el fondo con una chapa de acero al 9 % Ni de 8 mm de espesor, la cual no tiene efectos resistentes de ningún tipo, ya que el peso del GNL lo soporta el terreno a través de la losa de hormigón armado.

Bajo la chapa del fondo del tanque interior se habrán instalado previamente los siguientes elementos (ver detalle en documento de Planos del Proyecto), de arriba abajo:

- una cama de arena de 5 cm de espesor,
- una fila de briquetas de “foamglass” (aislamiento primario) de 125 mm de espesor,
- una capa de unos 8,5 cm de hormigón para nivelación.

Todo lo cual va colocado sobre un cubeto de chapa de acero al 9 % Ni, de 6 mm de espesor y 5 m de altura, que constituye el fondo del cubeto de protección de esquina que se coloca

en la parte inferior del fondo secundario. La función de este cubeto es la de recoger eventuales fugas que se puedan producir desde el tanque interior (e incluso condensaciones de vapor de GNL) y evitar así que el líquido llegue por las esquinas del tanque a la losa de hormigón armado, lo que resulta necesario ya que esta no resistiría a la temperatura criogénica y su correspondiente fragilización haría peligrar la totalidad de la estructura que se quedaría entonces sin cimentación. En los planos de detalle se puede observar la disposición de este cubeto entre los dos tanques.

El peso de la totalidad de este fondo sería:

$$\text{Peso fondo} = \rho_{\text{acero}} [(\pi \cdot 34^2 \cdot 0,008) + (\pi \cdot 34,4^2 \cdot 0,006) + 2 \cdot \pi \cdot 34,4 \cdot 5 \cdot 0,006] + \rho_{\text{arena}} (\pi \cdot 34,4^2 \cdot 0,05) + \rho_{\text{hormigón}} (\pi \cdot 34,4^2 \cdot 0,08) = 1075,8 \text{ t.}$$

En cuanto a la longitud de las soldaduras a efectuar en obra sería como sigue

- Superficie del suelo del tanque interior: $\pi \cdot 34^2 = 3632 \text{ m}^2$
- Superficie del suelo de la protección de esquina: $\pi \cdot 34,4^2 = 3717 \text{ m}^2$
- Superficie cilíndrica de la protección de esquina: $2 \cdot \pi \cdot 34,4 \cdot 5 = 1080 \text{ m}^2$.

Puesto que las chapas son de 10,2 m · 2,4 m (superficie=24,5 m²; perímetro=25,2 m), resultan las siguientes longitudes:

- Longitud soldadura en suelo = 3780 + 3830 = 7610 m
- Longitud soldadura horizontal (pared) = 460 m
- Longitud soldadura vertical (pared) = 110 m.

4.2 Tanque externo

4.2.1 Cálculo del Muro de hormigón

Al ser el tanque de contención total, por Norma se requiere que el muro externo sea capaz de resistir la presión hidrostática de GNL en el hipotético caso que el tanque interior se rajara o colapsara, y todo el GNL quedara contenido en el tanque exterior. En esas condiciones, la presión del líquido induce un esfuerzo de tracción en la pared exterior, tal como se aprecia en la *Figura 6*. Teniendo en cuenta que el volumen máximo de GNL que puede contener el tanque interior es de 161474 m³, como se vio en el *Apartado 4.1.2*, la altura a la que llegaría ese volumen de líquido en el tanque exterior es:

$$H = 161\,474 / (\pi \cdot 35^2) = 41,96 \text{ m (en la práctica se considera 42 m)}$$

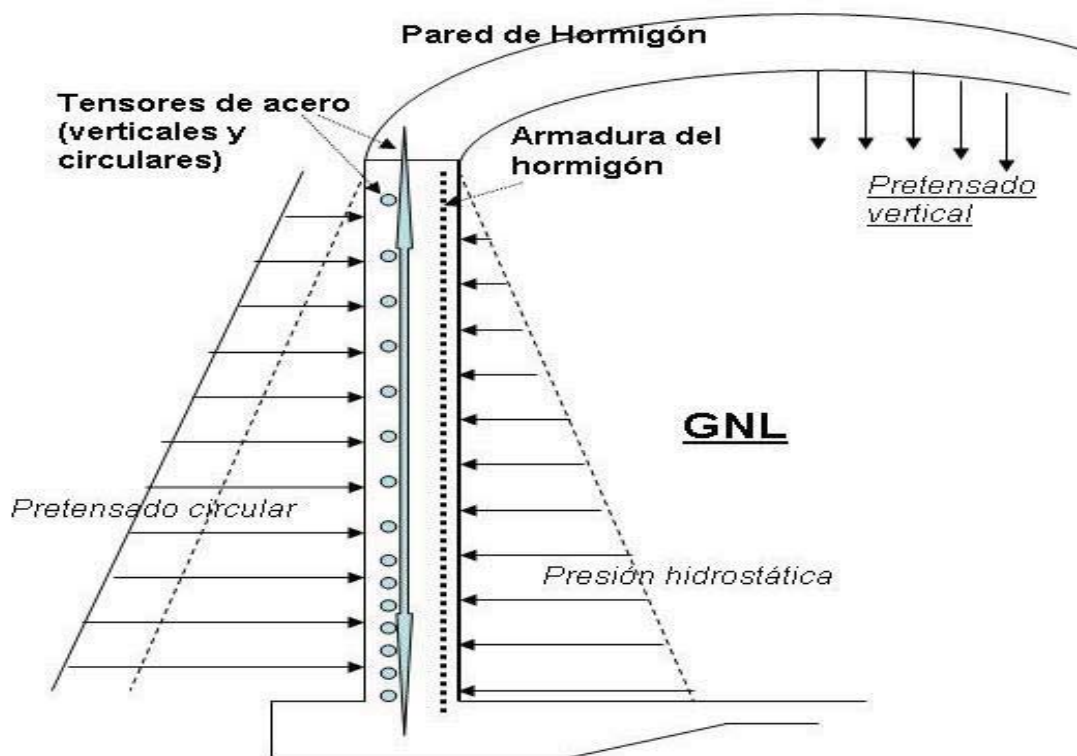


Figura 6 Pretensado del muro externo y esfuerzos transmitidos

La situación resistente del muro exterior en este caso es similar a la del tanque interior, por lo que se procede a efectuar los cálculos de la misma manera, usando la fórmula de Barlow. Por lo tanto, la fuerza de tracción que genera la presión hidrostática sobre la pared, cerca del fondo, será (ver *Figura 4* y *Figura 5*):

$$2 \cdot F = p \cdot D,$$

donde:

p = presión expresada en metros de columna de agua y vale, por tanto, $G \cdot \rho_{H_2O} \cdot H$

D = Diámetro interior/Diámetro exterior

De tal manera que:

$$F = \frac{1}{2} (G \cdot 1000 \cdot H) \cdot D = 250 \cdot 70 \cdot 42 = 735\,000 \text{ kg/m}$$

Puesto que el tanque es de contención total, además del GNL, la pared externa también debe resistir la presión del vapor de GNL sobre toda la circunferencia interior (máximo de operación 140 mbar_g, que equivale a: $140 \cdot 100/g \text{ kg/m}^2 = 1\,427 \text{ kg/m}^2$), lo que produce un esfuerzo adicional sobre la pared que vale: $F' = \frac{1}{2} p \cdot D = \frac{1}{2} \cdot 1\,427 \cdot 42 = 30\,000 \text{ kg/m}$.

Un tercer esfuerzo que debe soportar la pared externa del tanque es la presión de la perlita, pero esta será inexistente en el caso catastrófico que estamos considerando aquí, ya que por su densidad flotaría sobre el líquido, y no la tendremos en cuenta.

De tal forma que la fuerza total que actúa sobre la pared cerca del fondo vale: $F_{total} = 765\ 000\ kg/m$. En el *Apartado 4.2.2* calcularemos el empuje recibido por la pared en la junta cúpula-muro, que determinará el cálculo resistente en la zona alta del tanque.

Para elegir el material de la pared externa del tanque debemos considerar que el caso de diseño, correspondiente a una emergencia (rotura del tanque interior), está limitado en el tiempo, ya que se trata de una situación momentánea. Como consecuencia de ello, los efectos a largo plazo de un líquido a esa temperatura sobre el hormigón (fisuración, superficial inicialmente, y penetrante con el tiempo) no es necesario tenerlos en cuenta en este caso. Por ello se puede utilizar hormigón armado en lugar de acero inoxidable como material de la pared para abaratar el coste de la misma.

Como es sabido, la resistencia del hormigón a tracción es alrededor de un 25 % de su resistencia a compresión; a todos los efectos, su resistencia a tracción se considera nula, por lo que al hormigón se le añade una armadura de acero cuando se quiere que soporte tracción: el número de varillas de acero será mayor cuanto mayor sea el esfuerzo de tracción al que esté sometido.

En el caso del tanque, una solución todavía más económica que el hormigón armado la representa el hormigón pretensado; en efecto, en lugar de armar el hormigón para resistir el esfuerzo de tracción que supone el tanque lleno de GNL sobre la sección resistente del hormigón, podemos aprovechar la superior capacidad resistente del hormigón a compresión sometiéndolo de forma permanente, desde el principio, a un esfuerzo de compresión tal que sea igual al esfuerzo de tracción que se generaría en la pared cuando el GNL inundara el tanque exterior. De esa manera, si esto último llegara a ocurrir, la tensión interna de tracción que generaría el líquido la compensaría exactamente el pre-tensado del hormigón, por lo que éste no sufriría tracción adicional.

En la actualidad, la mayoría de los tanques de doble contención y contención total utilizan el hormigón pre-tensado para la pared externa. Para estos tanques, en condiciones normales de servicio, el muro externo del tanque de GNL está sometido a cuatro solicitaciones principales:

- Compresión inducida en el hormigón por el pre-tensado del mismo (pre-tensado que se calcula para aguantar la presión hidrostática del GNL, en el caso de rotura del tanque interior)
- Presión de la perlita contra la pared interior
- Presión del vapor de GNL
- Empuje recibido en la junta cúpula-muro. Este esfuerzo tiene un tratamiento diferenciado en el *Apartado 4.2.2.*

Puesto que el pre-tensado circular del hormigón debe compensar exactamente las cargas presentes en el caso de emergencia, la fuerza total a considerar vale: $F = 765\ 000\ \text{kg/m}$. Puesto que las pérdidas del pretensado en el tiempo se estiman de un 33 %, el pretensado de los alambres a aplicar en obra cerca de la base del tanque será de:

$$\text{Pretensado inicial} = 765\ 000 \cdot 1,33 = 1\ 017\ 450\ \text{kg/m} = 10\ 174,5\ \text{kg/cm}$$

Obtenido ese valor para la fuerza exterior que actúa sobre la pared, para calcular el espesor de la pared asumimos lo siguiente:

- 1) un coeficiente de seguridad de 1,6 respecto a la Resistencia característica (a los 28 días) del hormigón a compresión, S_y , durante el traccionado de los alambres del pretensado. Con ello la resistencia inicial de $300\ \text{kg/cm}^2$ que tiene el hormigón queda en $300/1,6 = 187,5\ \text{kg/cm}^2$
- 2) un coeficiente de pérdidas del hormigón de 1,25. Este coeficiente incluye, entre otras, las pérdidas que ocurren en el hormigón a lo largo de la vida útil de la estructura por deformación elástica, por fluencia y por contracción; el valor de este coeficiente oscila entre 1,20 y 1,30.

Puesto que la fuerza $F = t \cdot S_y (= p \cdot D)$, en definitiva resulta que el espesor mínimo de hormigón necesario sería, despejando t y aplicando los coeficientes mencionados, el siguiente:

$$\text{Espesor mínimo hormigón} = 1,25 [(10\ 174,5 / 187,5) = 67,83\ \text{cm}.$$

A lo que hay que añadir un 20% que ocupa el acero así como 3 cm del necesario recubrimiento de las armaduras de acero en la superficie de cada cara del hormigón y así, finalmente, obtenemos:

$$\text{Espesor mínimo del muro del tanque} = 67,83/(80/100) + 2 \cdot 3 = 90,8\ \text{cm}.$$

En la práctica se adopta un espesor total de 100 cm para mayor seguridad, debido a las aproximaciones adoptadas a lo largo de este cálculo. Con ello los diámetros interior y exterior del tanque resultan ser 34,4 m y 35,4 m respectivamente.

En cuanto a la altura del depósito, este se subirá hasta 1,8 m sobre la altura del tanque interior, para dejar espacio visitable entre los dos tanques por encima de las mantas de fibra de vidrio del techo de aluminio (que tienen 1 m de espesor). Puesto que la altura del suelo interior es de 0,53 m y la del exterior es de 0,26 m resulta la siguiente:

Altura total del muro del tanque exterior = $45,6 + 1,8 + 0,8 = 48,2$ m.

Por ello el volumen de hormigón del muro externo del tanque resulta ser:

$$\text{Volumen} = \pi (35,4^2 - 34,4^2) 48,2 = 10\,570 \text{ m}^3.$$

Para calcular el peso de ese muro se considera una proporción hormigón/acero de 80/20 (en peso), con lo que teniendo en cuenta las densidades de ambos materiales, resulta:

$$\text{Peso del muro} = 10\,570 \cdot (0,8 \cdot 2\,350 + 0,2 \cdot 7\,850) = 36\,465 \text{ t.}$$

4.2.2 Cúpula del techo

En primer lugar se consideran las características geométricas que van a determinar los cálculos estructurales. El techo del depósito exterior es una cúpula esférica, cuya base tiene un radio que es el de la pared interior del tanque externo, o sea $r_2 = 34,4$ m (teórico); el ángulo de ataque se selecciona de 30° por ser el que optimiza mayor resistencia con menor volumen de hormigón. En esas condiciones el radio de la esfera total vale:

$$R = 34,4 / \text{sen } 30^\circ = 68,8 \text{ m.}$$

Y la altura de la bóveda (ver *Figura 7*) resulta ser:

$$R^2 + r_2^2 = (R-h)^2, \text{ y despejando queda: } h = 15,4 \text{ m.}$$

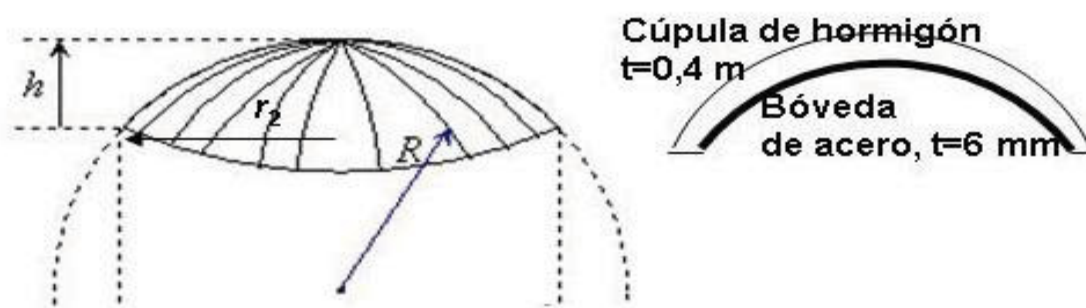


Figura 7 Techo del tanque exterior

Los principales esfuerzos que soporta el techo del tanque son los siguientes:

1. la presión interior del vapor de GNL: máximo de 140 mbar, equivalente a 1400 kg/m²
2. el empuje del viento; el valor máximo adoptado para Barcelona es de 144 km/h = 40 m/s. Según la Norma española de Edificación NTE-CSL, apartado de Cubiertas, eso equivale a una presión: $p_v = 0,8 \cdot v^2 / 16 = 80 \text{ kg/m}^2$
3. el peso propio; este resulta una función del espesor de la bóveda de hormigón y lo calcularemos más adelante
4. sobrecarga por nieve (Norma Técnica de Edificación, en Barcelona) = 75kg/m².

La bóveda de hormigón lleva un pretensado en su borde circular que se calcula para absorber la componente horizontal de todas las cargas y sobrecargas posibles. De las cargas citadas resultaría un esfuerzo total en sentido horizontal como sigue:

$$1400 + 80 + 75 \text{ sen } 30^\circ + \text{peso propio (función de espesor) sen } 30^\circ.$$

Utilizando los mismos criterios que en el cálculo anterior del espesor de la pared del muro vertical, e iterando (puesto que el espesor está en los dos términos de la ecuación), resulta un espesor de hormigón de 40 cm.

Y ya sabiendo que el espesor de hormigón en la cúpula es de 40cm, es posible calcular su peso. Así, y puesto que el volumen de un casquete esférico de radio R y altura h vale:

$$\text{Vol.} = \pi h^2 (3R-h) / 3,$$

podemos calcular el volumen de hormigón mediante la diferencia de los volúmenes de los dos casquetes esféricos que limitan el techo (la cúpula, o pared externa, y bóveda, o pared interna); con ello resulta el siguiente volumen de hormigón:

$$\text{Vol.} = \pi/3 \cdot [15,8^2 \cdot (3 \cdot 68,8 - 15,8) - 15,4^2 \cdot (3 \cdot 68,8 - 15,4)] = 2391,6 \text{ m}^3$$

Asumiendo que el 80 % del volumen corresponde al hormigón y el restante 20 % al acero de las armaduras, el peso total del techo sería:

$$\text{Peso} = (0,8 \cdot 2391,6 \cdot 2350) + (0,2 \cdot 2391,6 \cdot 7850) = 8251000 \text{ kg.}$$

Para obtener el peso total del techo del tanque de GNL, a ese valor hay que añadirle los 53000 kg que pesa la plataforma de Al que está colgando de este techo y el peso del liner que, como se ve más adelante, resulta ser de 318000 kg; así como también el peso de la plataforma exterior de soporte de las bombas criogénicas, las tuberías fijas al techo y los

demás elementos en esa plataforma, lo cual se estima como un 2 % del peso del techo de la cúpula de hormigón. En total se estima que el techo pesa, en total:

$$\text{Peso del techo} = 8\,251\,000 + 53\,000 + 318\,000 + 82\,510 \cdot 2 = 8\,787\,000 \text{ t.}$$

Y con este valor ya podemos calcular la tracción a la que tenemos que someter los cables de pretensado del borde del techo. Ya que la superficie del casquete vale:

$$\text{Superficie} = 2\pi R \cdot h = 2 \cdot \pi \cdot 68,8 \cdot 15,4 = 6\,657 \text{ m}^2,$$

resulta una presión horizontal por el peso de la bóveda de:

$$(8\,787\,000 / 6\,657) \cdot \text{sen}30^\circ = 660 \text{ kg/m}^2.$$

Y la presión total resulta:

$$\text{Presión horizontal total} = 1\,427 \text{ (presión máxima del vapor de GNL expresada en kg/m}^2\text{)} + 80 \text{ (viento)} + 660 \text{ (peso propio)} + 75 \cdot \text{sen}30^\circ \text{ (nieve)} = 2\,205 \text{ kg/m}^2$$

Por lo que, aplicando la fórmula de Barlow ($F = \frac{1}{2} p \cdot D$), la fuerza total a considerar vale:

$$F = \frac{1}{2} \cdot 2\,205 \cdot D = \frac{1}{2} \cdot 2\,205 \cdot 70 = 77\,175 \text{ kg/m.}$$

Puesto que las pérdidas del pretensado en el tiempo se estiman de un 33 %, el esfuerzo de tracción a aplicar en obra a los alambres en la parte superior del tanque será:

$$\text{Pretensado inicial} = 77\,175 \cdot 1,33 = 102\,643 \text{ kg/m.}$$

4.2.3 Fondo del tanque

El tanque exterior se cierra por el fondo con una chapa de acero al C de 6 mm de espesor (que constituye además la barrera de vapor por ese lado), sobre la cual se colocan:

- 10 cm de hormigón de nivelación, seguido de
- 3 filas de bloques de “foamglass” (375 mm de espesor en total, a 125 mm cada fila) como aislamiento y, finalmente,
- un lecho de arena de 5 cm de espesor.

Todo lo cual se instala directamente, y en ese orden, sobre la losa de hormigón que constituye la cimentación del tanque. Por encima de todo ello vendrá apoyado el cubeto de acero al 9 % Ni mencionado en el capítulo dedicado al tanque interior.

El peso total de este fondo sería:

$$\text{Peso fondo} = \rho_{\text{acero}} \cdot (\pi \cdot 34,4^2 \cdot 0,006) + \rho_{\text{arena}} \cdot (\pi \cdot 34,4^2 \cdot 0,05) + \rho_{\text{hormigón}} \cdot (\pi \cdot 34,4^2 \cdot 0,1) = 1\,383,4 \text{ t.}$$

4.3 Aislamiento entre paredes

4.3.1 Datos básicos

Las simplificaciones que se hacen en este cálculo son las siguientes:

- No se tiene en cuenta la entrada de calor por techo y fondo
- Se consideran las paredes como anillos infinitos (sin bordes)
- Para la transmisión de calor solamente se tiene en cuenta el hormigón y la perlita
- Se desprecia la transmisión de calor por convección y radiación
- Se considera la vaporización del GNL uniforme en el tiempo (día y año).

Los datos básicos de partida son los siguientes:

Temperatura (máxima) exterior del muro de hormigón: 65 °C

Conductividad térmica del hormigón: $k_h = 82,4 \text{ W/(mK)}$

Temperatura mínima del GNL: -163 °C

Tasa de vaporización de GNL (objetivo): 0,05 %/día

Calor de vaporización del metano, Δh : 418 kJ/kg.

En primer lugar calcularemos el calor que llega al GNL a través de las paredes y el aislamiento. Para ello recordemos que el máximo volumen de GNL que el tanque puede contener (talón + útil) es 161 474 m³, lo que nos da una tasa diaria de vaporización del GNL = $0,05 \cdot 161\,474 / 100 = 80,7 \text{ m}^3/\text{día}$, cuyo equivalente en peso es $W = 80,7 \cdot 500 = 40350 \text{ kg/día}$. La vaporización de esa cantidad de GNL requiere aportar la siguiente cantidad de calor:

$$\text{Calor} = W \cdot \Delta H = 40\,350 \cdot 418 = 16\,866\,300 \text{ kJ} = 4\,684,8 \text{ kW-h (cada día),}$$

Y el calor transmitido por unidad de tiempo resulta, por tanto:

$$Q/t = 4\,684,8 / 24 = 195,2 \text{ kW}$$

que es el calor del ambiente que entra por las paredes del tanque y calienta el GNL.

4.3.2 Cálculo del aislamiento de perlita

El material de aislamiento utilizado en prácticamente la totalidad de los tanques de GNL en el mundo es el polvo de perlita expandida. Este material se inyecta entre el muro externo de hormigón y la pared interior de acero al 9 % Ni. Las características más relevantes de la perlita son las siguientes:

- Conductividad térmica: $k_p = 0,04 \text{ W}/(\text{m}^\circ\text{K})$
- Peso específico: $\rho = 87,5 \text{ kg}/\text{m}^3$ (valor promedio entre el $\rho = 50 \text{ kg}/\text{m}^3$ y el $\rho = 125 \text{ kg}/\text{m}^3$ de la perlita expandida 10 y 20 veces, respectivamente).

Tal como se aprecia en la *Figura 8*, y seleccionando el espesor de la virola más gruesa, el radio exterior de la pared de acero al 9% Ni resulta ser:

$$r_1 = r_0 + \text{espesor acero} = 33,94 + 27/1000 = 33,97 \text{ m.}$$

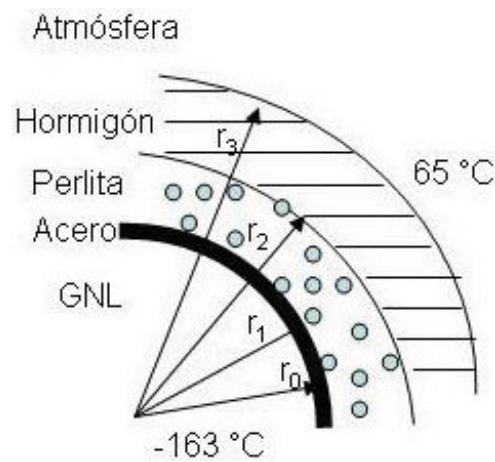


Figura 8 Disposición de las paredes y aislamiento del tanque de GNL

Por otro lado, y puesto que el espesor de la pared de hormigón ha resultado ser de 1 m:

$$r_2 = r_3 - 1 \text{ (espesor hormigón)}$$

De forma que el espesor de perlita resulta ser:

$$\text{Espesor perlita} = r_2 - r_1 = r_3 - 32,97 \text{ m.}$$

El calor transmitido por conducción a través de 2 paredes cilíndricas (conductividades k_p y k_h) de longitud H , entre 2 ambientes a diferentes temperaturas T_1 y T_3 , vale:

$$Q = H \Delta T / [\log_n(r_2/r_1)/2\pi k_p] + [\log_n(r_3/r_2)/2\pi k_h]$$

En nuestro caso, resulta:

$$195,2 = 45,52 \cdot (65 + 163) / [\log_n(r_2/33,97)/2 \cdot \pi \cdot 0,04] + [\log_n(r_2+1/r_2)/2 \cdot \pi \cdot 82,4]$$

De donde se despeja r_2 y se obtiene por lo tanto el espesor del relleno de perlita, que resulta ser: 0,406 m. Para ser conservadores, en la práctica se adopta 0,410 m como distancia entre la pared exterior del tanque interno de acero y la pared interior del muro exterior de hormigón.

Para calcular el volumen de perlita que se necesita para rellenar ese espacio entre paredes debemos adoptar como distancia entre paredes la que existe en las virolas de arriba (de espesor 6 mm), por lo que el espesor real de la capa de perlita será: $410 + (27-6) = 431$ mm. En cuanto a la altura del espacio entre paredes, además de la altura del tanque interior hay que considerar por encima de ello el espacio entre el aislamiento de las mantas de fibra de vidrio -que se colocan sobre la plataforma de Al- y la pared de hormigón, que alcanza una altura de aproximadamente 1 m extra sobre los 45,52 m del tanque interior. Con todo ello el volumen de perlita resultaría ser:

$$\text{Vol. teórico} = [\pi \cdot (0,431 + 33,97)^2 - \pi \cdot 33,97^2] \cdot (45,52 + 1,0) = 4\,307 \text{ m}^3.$$

Dado que el peso específico de la perlita es de 87,5 kg/m³, el peso de toda la perlita es:

$$\text{Peso perlita} = 4\,307 \cdot 87,5 = 377\,000 \text{ kg.}$$

4.3.3 Capa de perlita real y sus efectos

En la realidad ocurre que durante las obras de construcción del tanque se hace necesario que el espacio entre paredes sea “circulable” y útil para personas y equipos de soldadura, ya que el tanque interior se monta una vez que el tanque externo está finalizado. Por ello, entre ambos tanques se requiere un pasillo de aproximadamente 1 m de ancho. Y ese es en definitiva el espesor del aislamiento de perlita que va a existir entre los dos tanques. Así que el radio interior del muro externo de hormigón resulta ser en la práctica:

$$r_2 = 34 + 1 = 35 \text{ m}$$

Y el volumen real de la perlita a instalar entre los dos tanques sería aproximadamente de:

$$\text{Vol. perlita} = 10\,080 \text{ m}^3.$$

Aunque la perlita tiene un peso específico muy bajo, sin embargo la presión que ejerce sobre la pared exterior del tanque interior no puede despreciarse a efectos resistentes, especialmente porque puede producirse el pandeo de la sección transversal (como es sabido, el pandeo provoca el colapso de una estructura esbelta a tensiones muy inferiores a las correspondientes al límite elástico del material) cuando el tanque está vacío o con poco GNL. Para evitar esta posibilidad, por todo el perímetro de la pared exterior, y a varias alturas, se sueldan unas pletinas delgadas que actúan como rigidizadores transversales y disminuyen, a un coste mínimo, la esbeltez del cilindro.

4.3.4 Otros aislamientos

Además del espacio entre paredes de los dos tanques, se aíslan también los fondos de ambos tanques y el techo de Al del tanque interior. Las dimensiones de todos estos aislamientos son las siguientes:

- a) Fondo del tanque primario: bajo la chapa de base de 8 mm, de acero al 9 % Ni, se instala una capa de bloques de “foamglass” de 125 mm de espesor, tipo HLB-800
- b) Fondo del tanque secundario: entre la chapa que constituye la barrera de vapor y el fondo del cubeto al 9 % Ni que existe entre los 2 tanques se instalan 3 capas de “foamglass” de 125 mm cada una (total 375 mm)
- c) Techo del tanque primario: sobre la plataforma de Al que cuelga sobre el tanque interior se colocan 9 o 10 capas de lana de vidrio, de 100 mm de espesor inicial (el propio peso las deforma posteriormente) cada una
- d) Pared externa del tanque interior: entre la perlita y el acero se colocan mantas de lana de vidrio, que amortiguan el choque térmico sobre la perlita durante los transitorios de la puesta en frío y, en menor medida, de las operaciones de llenado/vaciado del GNL; con ello se previene una mayor presión de la perlita sobre la pared exterior del tanque interno y de esa manera se tienen que instalar menos rigidizadores en la pared.
- e) Otros: también se utilizan mantas de fibra de vidrio en juntas y esquinas, para protección térmica.

4.4 Barrera de vapor

La barrera encargada de contener los vapores del GNL consiste en una chapa de acero al carbono que recubre por el interior el muro externo y el techo de hormigón. Se la denomina indistintamente forro o “liner”.

4.4.1 Forro cilíndrico

La chapa de acero al carbono que va forrando el muro de hormigón por su interior tiene un espesor de 5 mm, el mínimo permitido por ENAGAS. El fabricante de las chapas de este material las suministra de 12,0 m en longitud y 2,25 m en altura. Estas chapas se instalan sobre la pared del tanque con su longitud en sentido vertical, para aumentar los cordones de soldadura en ese sentido. Y dado que la circunferencia interior del muro externo era de 34,4 m, la circunferencia de la barrera de vapor resulta ser:

$$\text{Circ.} = 2 \cdot \pi \cdot r = 216 \text{ m}$$

Y el número de chapas a instalar en ese sentido: $216/2,25 = 96$ chapas.

En el sentido de la altura, sabemos que el muro exterior sobrepasa en altura al interior 2,6 m, por lo que la altura de aquel resulta ser: $45,6 + 2,6 = 48,2$ m. Por lo que el número total de filas o virolas a instalar será de: $48,2 / 12 = 12$ virolas.

La superficie total de este forro resulta ser:

$$\text{Superficie del forro} = 216 \cdot 48,2 = 10\,411 \text{ m}^2.$$

Y su peso será:

$$\text{Peso del forro cilíndrico} = 10\,411 \cdot 0,005 \cdot 7\,850 = 408\,632 \text{ kg.}$$

Las longitudes para soldar en obra serán:

$$\text{-Soldadura horizontal} = 864 \text{ m}$$

$$\text{-Soldadura vertical} = 4.608 \text{ m.}$$

La barrera de vapor cilíndrica se cierra por el suelo, tal como se indicaba en el capítulo 4.2.3. Allí mismo ya se incluía el peso de esa barrera; aquí simplemente se indica la longitud de soldadura correspondiente a la misma. Puesto que la superficie de ese fondo es de $\pi \times 34,4^2 = 3\,717 \text{ m}^2$, el número de chapas (de 12 m·2,25 m cada una) a utilizar será de 138 chapas, con lo que la longitud total de soldadura -toda en el suelo- resulta ser:

$$\text{-Longitud de soldadura del fondo} = 3\,934 \text{ m.}$$

4.4.2 Forro del techo

La bóveda de hormigón también va forrada, para contener el vapor de GNL, con una chapa de acero al carbono de 5 mm de espesor. Ésta se refuerza con vigas transversales de acero “en I” para soportar mejor los esfuerzos durante la obra, ya sea durante la soldadura de la misma o durante su izado hasta el techo, pero sobretodo porque este forro sirve de encofrado para el hormigón durante la construcción del techo de hormigón. La superficie de chapa de acero a instalar vale en este caso:

$$\text{Superficie} = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot h = 2 \cdot \pi \cdot 68,8 \cdot 15,4 = 6\,657 \text{ m}^2.$$

La superficie equivalente es la de un cuadrado de 81,6 m de lado.

Por lo que el número de chapas resulta ser de: $81,6 / 2,25 = 36,3$; o sea 37 chapas.

Y el número de virolas será: $81,6 / 12 = 6,8$; o sea 7 virolas.

Por ello, el número de chapas de acero al carbono a instalar en el techo resulta ser: $7 \cdot 37 = 259$ chapas.

Asumiendo que el peso de las vigas en I es un 20 % del peso de la chapa a instalar, el peso total del forro del techo será, por otro lado:

$$\text{Peso} = 1,20 \cdot (6\,657 \cdot 0,005) \cdot 7\,850 = 318\,000 \text{ kg.}$$

Las chapas en este caso se sueldan todas ellas en el suelo, según la dirección del casquete esférico, ya que es en el suelo del tanque donde se pre-monta el forro del techo y luego se eleva empujándolo con aire a presión hasta su posición final sobre el muro de hormigón. Por ello la longitud de chapa de acero a soldar en obra será una única y valdrá:

$$\text{Soldadura: } 4\,429 \text{ m.}$$

4.5 Cimentación del Tanque

4.5.1 Naturaleza de los terrenos

El lugar donde se va a ubicar el tanque de GNL es un terreno llano que está situado en una explanada ganada al mar mediante relleno hidráulico, y contenido entre los dos bordes de mar abierto por diques de escollera. Este relleno fue realizado por la Junta de Obras del Puerto de Barcelona. El terreno fue adquirido por ENAGAS recientemente para la ampliación de su Planta de regasificación de GNL.

Las características del subsuelo se han determinado en el Estudio Geotécnico encargado en su día por ENAGAS a “Dames & Moore” (ver *Anexo C*); esta compañía procedió a realizar una campaña de sondeos perforando en el lugar del futuro centro del tanque hasta 46 m de profundidad y, además efectuando cuatro sondeos más en la periferia hasta 25 m de profundidad y otros intermedios. Los resultados de los análisis y ensayos de laboratorio efectuados sobre las muestras obtenidas de los terrenos en la zona del tanque, los resumimos a continuación:

1. En primer lugar, el relleno hidráulico tiene una profundidad media de -7 m y está compuesto básicamente por arena fina con un porcentaje de limos inferior al 10%, con una consistencia medianamente densa.
2. Subyacente al relleno hidráulico se encuentra el terreno natural hasta una profundidad media de -14 m, y el cual está compuesto por una alternancia de arcillas grises, moderadamente firmes, y arenas de naturaleza medianamente densas.
3. Inmediatamente por debajo del anterior se encuentra un estrato arenoso con pocos finos y en el que aparecen intercaladas vetas arcillosas de espesor

inferior a 0,5 m. Este estrato alcanza una profundidad de -18 m y su densidad es mediana.

4. El último estrato es otra capa compresible de arcillas y limos grises, con intercalación de vetas delgadas de arena, que continua hasta -25 m. Su consistencia es moderadamente firme.
5. El nivel freático aparece a -2,5 m.

En los ensayos de laboratorio de las muestras extraídas se determinó que la capacidad portante del terreno (o sea, sin que sufra licuefacción o deformaciones excesivas) bajo la losa del tanque era superior a $60\,000\text{ kg/m}^2$.

Como consecuencia de todo ello, y teniendo en cuenta las características sísmicas de Barcelona, el especialista en Suelos no ve inconvenientes para cimentar superficialmente el tanque con una losa de hormigón que transmita los esfuerzos al terreno de manera directa, sin necesidad de recurrir a pilotes o cimentaciones profundas. Todo ello a condición de que los estudios de estabilidad posteriores no sugieran otra cosa.

4.5.2 Estabilidad del tanque

Para determinar la estabilidad de la estructura, en primer lugar calculamos el peso total transmitido al terreno, teniendo en cuenta el peso de cada uno de los elementos del Tanque que hemos ido calculando en capítulos anteriores, tal como se muestra en la *Tabla 4*.

Tabla 4 Pesos sobre el terreno

Elemento	Peso (ton)
GNL	80 737
(Agua, durante prueba hidráulica)	(100 921)
Pared interior	1 118
Techo Al	53
Fondo interior y cubeto	1 076
Perlita	377
Forros	727
Muro exterior	36 465
Techo Hormigón	8 787
Fondo exterior	1384
Elementos auxiliares	137
Placa de cimentación (estimación)	9 300
TOTAL	140 161
(Prueba hidráulica)	(160 345)

La base de hormigón se prolongará 1,2 m (un 3,4 % del radio del muro exterior) para tener centrada sobre la losa de cimentación la carga singular (no distribuida) más importante, que es el muro exterior de hormigón. Por ello, el radio de la losa de cimentación será 36,8 m y el área de la misma resulta ser:

$$\text{Superficie losa} = \pi \cdot 36,8^2 = 4\,254 \text{ m}^2.$$

Por lo que la carga transmitida al terreno es:

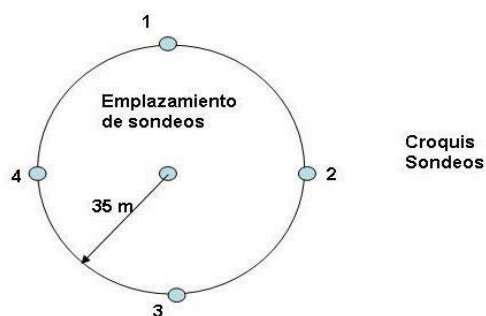
$$\text{Carga (operación normal): } 140\,161 / 4\,254 = 32\,948 \text{ kg/m}^2 = 3,3 \text{ kg/cm}^2,$$

$$\text{Carga (prueba hidráulica): } 160\,345 / 4\,254 = 37\,692 \text{ kg/m}^2 = 3,8 \text{ kg/cm}^2.$$

De esta manera se aprecia que el coeficiente de seguridad para la estabilidad es de 1,8 en operación normal y de 1,6 en prueba hidráulica.

Se pasa, a continuación, a determinar los asientos diferenciales que puede experimentar el tanque. Para el caso de prueba hidráulica, y dadas las características observadas en las muestras extraídas de los terrenos en el centro y en los cuatro puntos periféricos del tanque, se han calculado los asientos que se producen, los cuales han resultado ser los siguientes:

- Sondeo en el centro: 70 cm
- Sondeos periféricos: n° 1: 60 cm; n° 2: 50 cm; n° 3: 45 cm; n° 4: 55 cm.



Se observa que el asiento diferencial máximo, bajo condiciones de carga extremas, ocurre entre el centro y el perímetro del tanque situado en el sondeo n° 3, y vale 25 cm (ver croquis adjunto). Puesto que el asiento diferencial máximo admisible en este tipo de tanques es de 20 cm, si se quiere mantener la cimentación de placa es necesario mejorar las condiciones de compresibilidad del terreno bajo el tanque.

4.5.3 Pre-carga del terreno

Para mejorar las condiciones del terreno bajo el tanque existen diversos métodos geotécnicos como son la vibro-flotación del terreno, la inyección de cemento pobre en varias capas del subsuelo o la instalación de columnas de piedras bajo la superficie. Pero el más recomendado para este tipo de suelos, y que ya se ha utilizado con éxito en otros tanques de la Planta de ENAGAS en Barcelona, es el de la pre-carga del terreno.

Consiste este método en colocar una sobrecarga previa de tierras que se colocan sobre el emplazamiento del tanque, la cual se deja un periodo de tiempo suficiente y se retira antes de comenzar las obras del tanque. Su objetivo es el de disminuir los asientos que posteriormente ocurrirían con el tanque instalado, ya que la sobrecarga provoca la compresión de los estratos arenosos, por un lado, y la consolidación de los estratos arcillosos subyacentes, por otro. Un efecto beneficioso adicional es que la pre-carga también elimina las pequeñas bolsas de fangos y otras irregularidades que no se hubieran detectado durante los sondeos.

La sobrecarga de tierra a instalar temporalmente se calcula sabiendo que debe transmitir al terreno una carga igual a la del tanque durante la prueba hidráulica. Suponiendo que el peso específico de la tierra a utilizar en la pre-carga sea de $1,8 \text{ t/m}^3$, la altura del montículo de tierras será:

$$\text{-Altura} = 37,692/1,8 = 20,94 \text{ m}$$

El diámetro en la coronación de la sobrecarga no debe ser inferior a 60 m (el criterio es que no sea inferior al 80 % del diámetro de la losa de cimentación).

La sobrecarga se debe mantener una duración suficiente para conseguir una consolidación de los estratos arcillosos no inferior al 90 %. Con los datos de los ensayos de consolidación en laboratorio de las muestras extraídas, se estima que para conseguirlo, la sobrecarga debe permanecer sobre el terreno no menos de diez semanas (ver Informe Geotécnico en anexo). Los asientos medios que se conseguirían serían del orden de los citados anteriormente. En cualquier caso, durante la pre-carga del terreno se instalarán placas de asiento para controlar la operación y medir de forma real los asientos que se producen.

De esta manera los asientos diferenciales esperados en el tanque real (prueba hidráulica) serían de unos 9 cm entre el centro y la periferia y de 6 cm o 7 cm entre puntos de la periferia, valores que están por debajo de los máximos admisibles, y en línea con los correspondientes a las garantías que se van a requerir de los contratistas.

El llamado “módulo de balasto” (coeficiente que representa la relación entre una carga límite y la deformación correspondiente de un terreno; es mayor cuanto más consistente es el terreno) que se puede adoptar en estas condiciones para el terreno mejorado es de $K = 10 \text{ kg/cm}^3$, referido a una placa de hormigón de 30 cm de espesor, que es el mínimo requerido por la legislación actual.

4.5.4 Cálculo de la placa base de hormigón

Debido a las cargas concentradas de los muros del tanque en la periferia del mismo, la cimentación del depósito se va a componer de una zapata de distribución de cargas bajo los muros y una losa más delgada debajo del tanque interior, con objeto de optimizar el diseño de la misma.

En primer lugar las cargas que actúan sobre la losa de cimentación son las siguientes:

- GNL y suelos: $83\,197 / (\pi \cdot 34^2) = 22,91 \text{ t/m}^2$ (carga distribuida)
- Pared tanque interior: $1\,117,6 / (2 \cdot \pi \cdot 34) = 5,23 \text{ t/m}$ (carga continua)
- Perlita: $377 / 2 \cdot \pi \cdot 34,4 = 1,74 \text{ t/m}$ (carga continua)
- Muro externo, con techo y forros: $46\,149 / (2 \cdot \pi \cdot 35) = 209,85 \text{ t/m}$ (carga continua).

Todo lo cual está representado en la *Figura 9*.

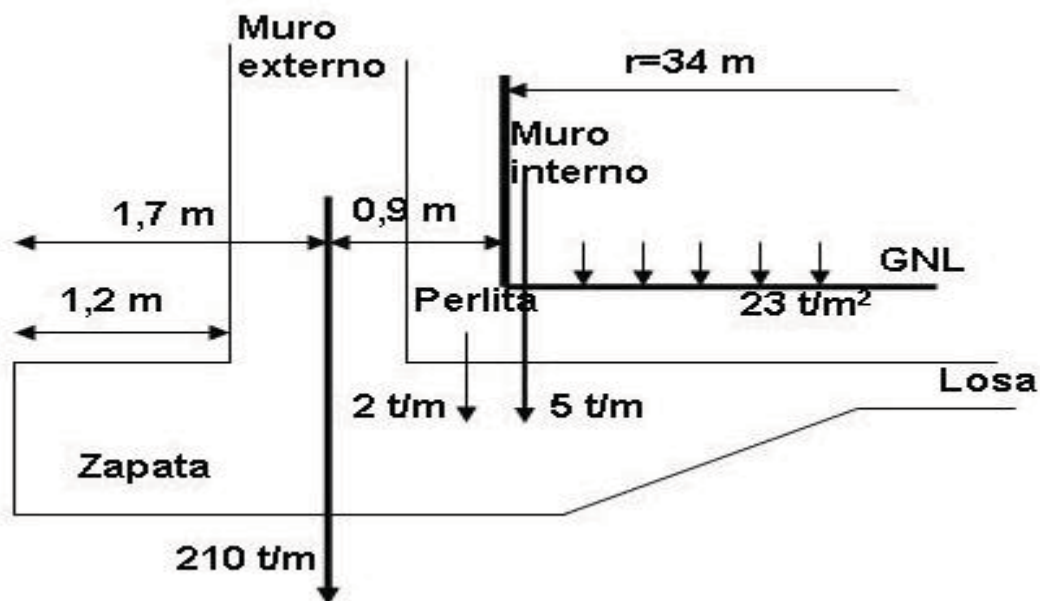


Figura 9 Esfuerzos sobre la cimentación

El cálculo del espesor de una losa de cimentación circular uniforme bajo un tanque de almacenamiento de líquidos viene dado por una fórmula empírica que liga los asentamientos diferenciales del suelo con la capacidad portante del terreno en función del módulo de “balasto” K . Esta fórmula fue desarrollada por la Universidad de West of England en Bristol (Wales) y se expresa como sigue (en unidades imperiales):

$$t = (E W / 258 K \sigma)^{2,1},$$

donde

- E = Módulo de elasticidad = $2 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2 = 3 \cdot 106 \text{ psi}$
- W = Carga máxima a soportar = $32\,948 \text{ kg/m}^2 = 6\,807 \text{ pound/feet}^2$
- K = módulo de balasto = $10 \text{ kg/cm}^3 = 360 \text{ pound/inch}^3$
- $\sigma = 0,5 \times$ Resistencia a la flexión del hormigón (que, a su vez, es entre un 20 % de la resistencia a la compresión) = $0,5 \cdot 0,2 \cdot 200 \text{ kg/cm}^2 = 283 \text{ psi}$.

En esas condiciones, aplicando la fórmula anterior, el espesor obtenido para una placa uniforme vale: $27,9'' = 71 \text{ cm}$.

Sin embargo se decide adoptar la solución de una losa más delgada bajo el tanque interior junto con una zapata anular bajo el muro exterior, que como se ha visto representa la zona

de mayor solicitación de carga sobre el terreno. Esta solución es mejor que la de placa de espesor uniforme por tres motivos:

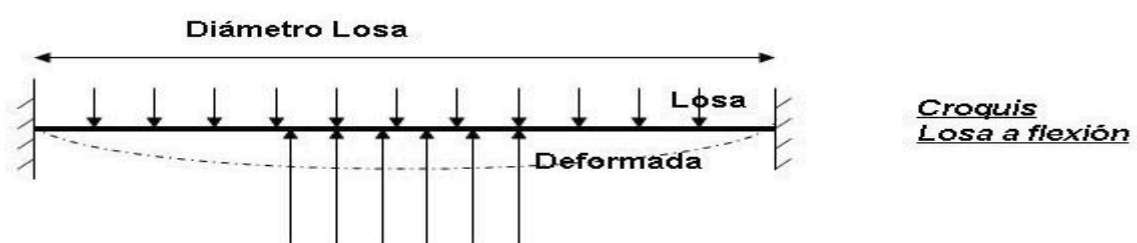
- 1) permite ahorrar hormigón;
- 2) distribuye mejor las cargas sobre el terreno y a través de la losa; y sobretodo,
- 3) la normativa española vigente sobre edificación NTE-CSL, en lo que se refiere a “Cimentaciones superficiales – Losas” (publicada en el BOE de 18-mayo-1984), requiere que se adopte un sobre-espesor de hormigón en la placa bajo pilares y paredes portantes.

En la citada Norma se especifica además que el espesor mínimo de una losa de cimentación será de 30 cm. Para mayor seguridad se elige adoptar un espesor de 40 cm para la losa principal, en el círculo situado directamente bajo el tanque interior.

Respecto a la zapata bajo el muro externo, se selecciona el espesor de 1,2 m en primera aproximación y comprobar las tensiones de flexión que se producen por los asientos diferenciales. Se recuerda que, después de realizada la pre-carga del terreno esos asientos serán como máximo de 9 cm entre centro y perímetro externo, y de 6 cm a 7 cm entre dos puntos de la periferia.

Para obtener los esfuerzos de flexión sobre la losa en su empotramiento con la zapata, se realiza indirectamente: simplemente se calcula el momento flector en una viga empotrada de iguales características que la losa elegida, en condiciones de carga que produzcan la máxima deformación que es posible en el caso propuesto, 9 cm. La longitud de la viga es el diámetro de la losa hasta el empotramiento con la zapata: asumiendo que la transición de espesores desde 1,2 m (zapata) a 0,4 m (losa) se hace en una longitud de 3 m, ese diámetro vale: $68 - 2(3+0,6) = 60,8$ m.

Para deformaciones de carácter lento como las que va a sufrir el tanque por el asentamiento del terreno, se pueden aplicar las fórmulas del libro de K.Beyer “*Estática en el hormigón armado*”. En ellas se ve que el caso más similar es el de una losa circular con dos cargas distribuidas según croquis adjunto; el diámetro de la carga vertical hacia arriba es el 40 % del diámetro de la losa.



Una carga distribuida sobre toda la losa de $13,2 \text{ kg/cm}^2$, contrarrestada por otra vertical hacia arriba (según croquis) de $25,7 \text{ kg/cm}^2$ produce una flecha de 9 cm. Con esas cargas, el momento flector máximo es de $5\,890 \text{ kg m/m}$ en el empotramiento con la zapata; pero este momento se ve parcialmente compensado con el efecto de compatibilidad de deformaciones entre losa y zapata, las cuales forman una única estructura. Ese efecto se traduce en un esfuerzo flector contrario de $1\,650 \text{ kg m/m}$ y, por ello el esfuerzo flector neto en el empotramiento es de: $-5\,890 + 1\,650 = -4\,650 \text{ kg m/m}$.

En el cuerpo de la losa se produce un esfuerzo flector máximo hacia abajo (cargas interiores) de $2\,110 \text{ kg m/m}$ en una circunferencia concéntrica de $13,6 \text{ m}$, así como un esfuerzo flector máximo hacia arriba (reacción del terreno) de $1\,310 \text{ kg m/m}$. Los momentos flectores en la losa son: a) $2\,110 \text{ kg m/m}$ máximo positivo, y b) $-1\,310 \text{ kg m/m}$ máximo negativo en el centro de la losa; estos esfuerzos de flexión tendrán que ser absorbidos por las dos armaduras circulares.

Esto en cuanto a los esfuerzos radiales. Respecto a los tangenciales, se sabe que la deformación es siempre inferior: de 6 cm a 7 cm (frente a 9 cm de los radiales). Por ello los esfuerzos de flexión y momentos flectores correspondientes serán siempre inferiores al caso de los esfuerzos radiales Y, puesto que se va a utilizar armadura electrosoldada simétrica en dos direcciones, no será por tanto necesario calcularlos ya que la armadura transversal a la radial -que tiene la misma sección de acero- los absorberá de sobra.

En la *Figura 10* se resumen los cálculos de forma gráfica.

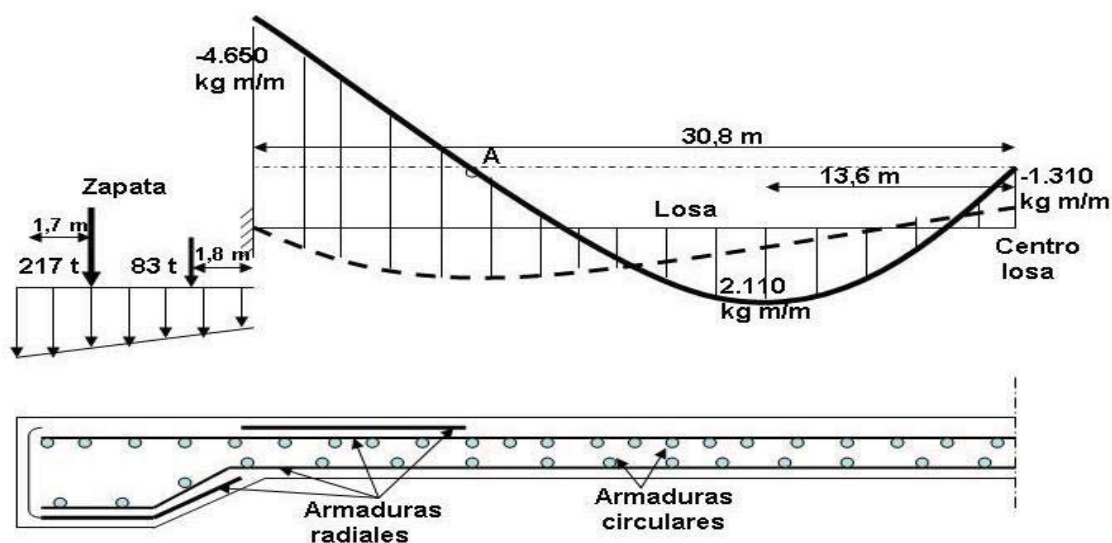


Figura 10 Esfuerzos de flexión y armaduras de acero

4.5.5 Selección de Armaduras de la losa y zapata

a) Losa

La Norma NTE-CSL especifica que las losas deben llevar una armadura superior para contrarrestar las presiones diferenciales del terreno (y posibles empujes de bolsas de agua subterráneas), así como una armadura inferior para absorber los esfuerzos flectores, por flechas desiguales, y las cargas variables cíclicas. Esto aplica tanto a la losa bajo el tanque interior como a la zapata bajo el muro externo.

Además en el caso del proyecto se refuerza la armadura radial para distribuir parcialmente los esfuerzos flectores a la zapata, según se vio anteriormente.

La armadura de la losa se prevé en malla electrosoldada simétrica en dos direcciones, la cual presenta la ventaja de tener un límite elástico más elevado lo que proporciona un mayor momento resistente de la sección y permite acomodar una flexión mucho más alta que la correspondiente a los momentos flectores calculados anteriormente.

Las armaduras necesarias se determinan siguiendo el método del momento tope preconizado en la norma NTE-CSL. Según este procedimiento la armadura de la malla a instalar en la parte superior requiere una sección neta de acero de 11 cm^2 por metro lineal de hormigón, en cualquiera de las dos direcciones; una forma de conseguir esa cantidad de acero es utilizando varillas de 14 mm de diámetro –lo que nos da $1,5 \text{ cm}^2$ de sección ($\pi D^2/4$)– y disponiéndolas en el hormigón separadas unos 11 cm entre sí. En la parte inferior, la armadura requiere $8 \text{ cm}^2/\text{m}$ lineal de sección de acero, también en cualquiera de las dos direcciones de la malla electrosoldada; por lo que, utilizando el mismo diámetro de varilla de 14 mm, habrá que instalar una de ellas cada 20 cm de hormigón, de forma que en una longitud de 1 m de hormigón dispongamos de los 8 cm^2 de acero necesarios.

En cuanto al refuerzo en el sentido radial este se instalará en la zona que tiene un momento flector –negativo– superior al de la malla electrosoldada, o sea la zona entre el punto A y la zapata (ver *Figura 10*). En este caso, la sección de acero necesaria asciende a $21 \text{ cm}^2/\text{m}$, que se consigue instalando una varilla de 25 mm de diámetro cada 20 cm; al ser la flexión negativa, estas varillas se instalan en la parte superior de la losa.

b) Zapata

La zapata, por su parte, tiene que cumplir dos funciones: primero, ejercer de losa puesto que es continuación de la misma, y, segundo, absorber una buena parte de las cargas que se concentran en esa zona periférica del tanque (muro externo, perlita y pared interior). Para

esta última función, la armadura será radial ya que las flexiones adicionales por esas cargas son en ese sentido. Para su cálculo se utilizan las reglas clásicas de hormigón armado. En la figura 9 se aprecia que, con el tanque vacío, el total de cargas es de: $210+2+5 = 217$ t/m; en ese caso se puede calcular que el esfuerzo tangencial transmitido por la zapata al terreno en el borde de la misma vale:

$$\text{Momento flector} = 210 \cdot 1,7 + 2 \cdot 2,4 + 5 \cdot 2,8 = 376 \text{ kg m/m.}$$

Con esos valores ya podemos calcular el centro de gravedad de las cargas. La excentricidad respecto del punto medio de la zapata (situado a 3,1 m del borde) resulta ser:

$$e = 3,1 - 376/217 = 1,367 \text{ m.}$$

Luego, las tres cargas puntuales asumidas tienen su punto de aplicación conjunto a: $3,1 - 1,367 = 1,733$ m del borde de la zapata. En cuanto a la presión sobre el terreno en los extremos de la zapata, esta vale:

$$p = (217/6,2 \times 10) (1 + -1,367/6,2)$$

Con lo que la presión en el borde exterior vale (solución positiva de la fórmula anterior):

$$p_E = 4,27 \text{ kg/cm}^2$$

Y la presión en el punto de integración de la zapata con la losa vale (solución negativa):

$$p_I = 2,73 \text{ kg/cm}^2.$$

Añadiendo el peso del GNL (depósito lleno), tendríamos dos cargas: la anterior de 217 t m/m, correspondiente a todas las cargas puntuales, y la distribuida del GNL. Transformando esta última a una nueva carga puntual, esta valdría $23 \times 3,6 = 83$ t m/m, la cual estaría aplicada a 1,8 m del empotramiento entre losa y zapata. Y operando de igual manera que antes, obtenemos:

$$\text{Excentricidad (con GNL): } e = 0,63 \text{ m}$$

Y en ese caso, el centro de gravedad está situado a: $3,1 - 0,63 = 2,47$ m.

O sea, que entre vacío y cargado el centro de gravedad de las cargas oscila entre 1,73 y 2,47 m desde el borde de la zapata. Siguiendo con el cálculo, la presión sobre el terreno en los extremos de la zapata valdría ahora:

$$p \text{ (con GNL)} = [(83+217)/6,2 \times 10] (1 + -0,63/6,2)$$

Y en particular, para cada borde:

$$p_E \text{ (con GNL)} = 5,33 \text{ kg/cm}^2$$

$$p_I \text{ (con GNL)} = 4,36 \text{ kg/cm}^2.$$

En realidad, como existe continuidad entre losa y zapata, y la presión distribuida del GNL en la losa vale $2,3 \text{ kg/cm}^2$, el valor de $p_1 = 4,36 \text{ kg/cm}^2$ es teórico, y el valor real de la tensión en el empotramiento ha de ser una cifra entre $4,36 \text{ kg/cm}^2$ y $2,3 \text{ kg/cm}^2$. En todo caso, calculando los momentos flectores para esas cargas distribuidas sobre la zapata (ver *Figura 10*) nos sale que el momento máximo vale: $64\,500 \text{ kg m/m}$. Adoptando el procedimiento de armado descrito en el libro de P. Jiménez Montoya, 2008 (incluido en el *Apartado Bibliografía*) se obtiene que la sección necesaria de acero es de $26 \text{ cm}^2/\text{m}$; esto se puede conseguir con alambres de 25 mm de diámetro separados 16 cm .

5 DESCRIPCIÓN Y CÁLCULO DE INSTALACIONES

5.1 Máquinas.- Bombeo primario

Cada uno de los tres vaporizadores de GNL (intercambiadores de calor donde se produce la re-gasificación del GNL por calentamiento con agua de mar) que se van a instalar como parte de la ampliación del Terminal, envía 200 000 m³(n)/h de gas vaporizado a la red de gasoductos de ENAGAS. Puesto que la relación líquido/vapor es de 590 m³(N)/m³ para el gas natural, es necesario bombear $200\ 000/590 = 340$ m³/h de GNL a cada vaporizador. Ese caudal se trasiega a través de las bombas secundarias (las P-2003 del Plano n° 1), las cuales elevan la presión del GNL hasta los 72 bar nominales de la red de gasoductos) previstas que son tres de 385 m³/h, aunque también se instalará una cuarta bomba de 256 m³/h (la P-2001) para alimentar el anillo de Barcelona.

Por su parte las bombas primarias, que alimentan con GNL a las bombas secundarias y los vaporizadores, van instaladas en el suelo del tanque de GNL, y son por lo tanto objeto de este Proyecto. Según lo visto en el párrafo anterior, estas bombas deben dar un caudal mínimo de: $3 \times 385 + 256 = 1\ 411$ m³/h. Así que el tamaño unitario de cada una de ellas será: $1\ 411 / 3 = 470$ m³/h. Lo más cercano a ese valor en el catálogo de EBARA -que es el suministrador preferido de ENAGAS- son las bombas criogénicas de 485 m³/h de capacidad nominal, movidas por un motor eléctrico de 280 kW cada una.

Además se instalará una cuarta bomba de respeto, así como para colaborar en el sistema de recirculación del GNL que mantiene frías las tuberías de descarga de metaneros en todo el Terminal durante los períodos en que no se estén llenando los tanques.

En cuanto a la presión mínima que deben aportar las bombas para sacar el producto por el techo del tanque, sabemos que la altura del tanque en lo más alto del techo externo es de 60,4 m. Luego son necesarios: $h \cdot \rho_{\text{GNL}} = 60 \cdot 500 = 3\ 000$ kg/m² = 0,3 MPa. O sea un mínimo de 3 bar_g. En cualquier caso las bombas son capaces de suministrar una presión nominal superior a 7 bar_g, que es la presión mínima a la que funciona el recondensador que se encuentra aguas debajo de las mismas.

Estas bombas se ubican de forma vertical en su pozo dentro del tanque, apoyadas en el suelo del mismo o suspendidas desde el techo -las dos formas son admisibles-, y con la aspiración cercana al fondo (ver *Figura 11*). El motor que mueve las bombas va montado

en el mismo eje que ellas y forma parte del conjunto que se encuentra sumergido en el GNL.

El pozo de las bombas estará dotado en la parte más baja de las mismas de una válvula de succión y un filtro. Por último, conviene recordar que para evitar el descebado de la bomba, el fabricante de estas bombas requiere un nivel mínimo de líquido en el fondo del tanque, o talón de GNL, de 1,6 m.

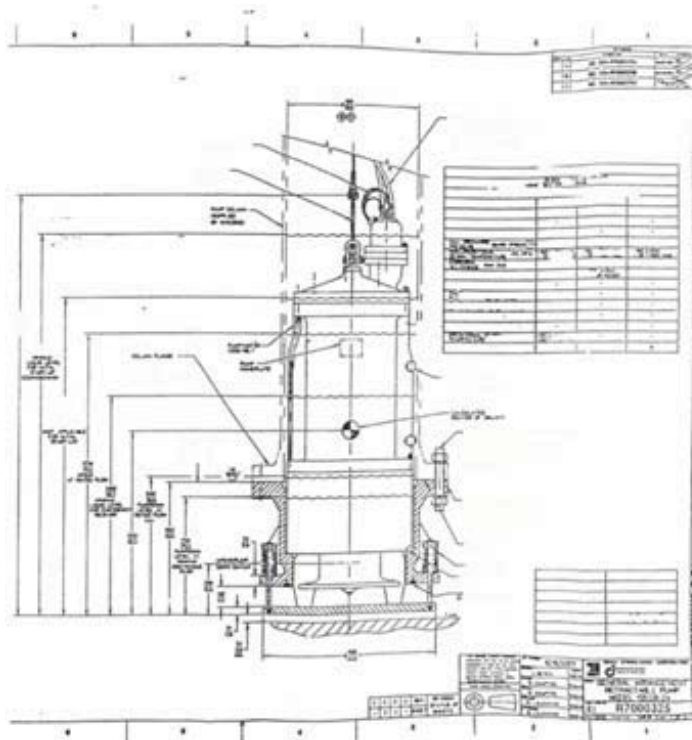


Figura 11 Bomba sumergida de GNL

Los pozos de las bombas seleccionadas, según catálogo del suministrador, serán de 36” (914 mm) de diámetro. La válvula de succión se colocará a una distancia de 15 cm del fondo. El espesor de la pared de los pozos está calculado en base a la presión hidrostática externa (caso más desfavorable), con el pozo vacío. El contratista del tanque deberá realizar un análisis de vibraciones en los pozos para diseñarlos de forma que la frecuencia natural de los mismos sea distinta (al menos un 20 % diferente) de las frecuencias de armónicos generados por la rotación de las bombas.

5.2 Tuberías (Piping)

Todas las penetraciones de tuberías en el tanque de GNL se efectúan exclusivamente por la cúpula del mismo, imposibilitando así el posible vaciado accidental del tanque en caso de problemas de una línea, ya sea una rotura en la tubería o fugas en alguna de sus válvulas o accesorios (bridas, derivaciones, injertos, etc.). Además de las válvulas habituales de control y seccionamiento, todas las tuberías de entrada y salida de cualquier producto dispondrán de una válvula de corte por fuera del tanque, maniobrable desde la plataforma instalada sobre el techo de este.

5.2.1 Cálculo y descripción de la tubería de llenado de GNL

El muelle de atraque de metaneros que se acaba de construir en la Terminal de Barcelona está dimensionado para buques de hasta 150 000 m³ de capacidad; estos buques suelen tener una capacidad de descarga de GNL de hasta 12 500 m³/h. Sin embargo ENAGAS tiene planificado construir un tercer muelle de atraque para metaneros de hasta 240 000 m³ (Q-max), cuya capacidad de descarga es de 18 000 m³/h. Para este último caudal es para el que se deben dimensionar las tuberías de llenado de los tanques.

Por otro lado, ENAGAS ha fijado en 8 m/s la velocidad máxima del GNL en las tuberías de la Planta, al objeto de evitar turbulencias excesivas en el flujo de GNL reduciendo así la pérdida de carga, el ruido y el riesgo de cavitación. En esas condiciones es posible calcular el diámetro de la tubería de llenado del tanque como sigue:

$$\text{Diámetro} = 2 [(Q / 3\,600 \pi v)]^{1/2} = 0,89 \text{ m} = 35,2''.$$

Se adopta un diámetro de 36'', que es el más próximo comercializado.

Con objeto de conseguir una mayor uniformidad y mezclado del GNL nuevo con el que existía en el tanque en el momento del llenado, y evitar así posibilidades de “roll-over”, se instalarán dos tuberías de llenado dentro del tanque, una para vertido del GNL en la parte superior del tanque, y la segunda para introducirlo a nivel cercano al fondo, en ambos casos con el diámetro de 36''. Las tuberías entran en el tanque por el techo del mismo, al igual que todas las demás.

El caudal de GNL se regula antes de la entrada del tanque con una válvula de mariposa de tres vías (V – 108, en los planos), la cual contiene dos discos mecánicamente ligados, de forma que cuando uno está cerrado el otro está abierto. De esa manera se puede enviar el

GNL hacia la parte superior del tanque, a la inferior, o una combinación de ambas. La válvula está motorizada y se controla desde la Sala de Control de la Terminal.

Aguas arriba de la válvula anterior se encuentra la válvula de corte o seccionamiento (V – 104, en los planos), la cual permite interrumpir completamente el flujo de GNL hacia el tanque ya sea en operación normal, para desviar el GNL a otro tanque de la Terminal, o por razones de emergencia. Esta válvula también está motorizada y controlada desde la Sala de Control.

Como cualquier otra tubería de GNL, éstas también dispondrán de un aislamiento criogénico para evitar entradas de calor. Se podrá utilizar espuma de poliuretano de un espesor no inferior a 10 cm, o cualquier otro aislamiento equivalente.

5.2.2 Cálculo y descripción de la tubería a vaporizadores

ENAGAS exige que la tubería que transporta el GNL desde el tanque hacia las bombas secundarias de entrada a vaporizadores tenga una capacidad equivalente al doble de lo que sería estrictamente necesario, con objeto de tener siempre un cierto volumen acumulado de GNL en las mismas y evitar que se desceben las bombas secundarias en casos de interrupciones o baja carga. En esas condiciones, el diámetro de esa tubería sería:

$$2 \cdot [(Q / 3600 \cdot \pi \cdot v)]^{1/2} = 0,353 \text{ m} = 13,9''$$

siendo:

$$Q = \text{caudal de GNL en m}^3/\text{h}$$

$$V = 8 \text{ m/s (velocidad máxima del GNL permitida por ENAGAS).}$$

Se adopta para esta tubería un diámetro de 16'', que es el más próximo comercialmente disponible.

Esta tubería se conecta a los pozos de las bombas primarias, tras su salida del tanque por el techo, por medio de tres tuberías de 12'' de diámetro, y de corta longitud. Estas tuberías disponen cada una de una válvula de seccionamiento (V – 201, en los planos) motorizada y controlada remotamente desde la Sala de Control.

Esta tubería dispondrá del mismo aislamiento que la de llenado de GNL.

5.2.3 Otras tuberías

El sistema de recuperación del vapor de GNL tiene por objeto primordial evacuar los vapores que se producen de forma natural en el tanque (al ir calentándose poco a poco el GNL almacenado), con el objeto de mantener la presión de funcionamiento del tanque

dentro de los límites tolerados. En segundo lugar, durante las operaciones de descarga de GNL, la tubería se encarga de hacer circular el vapor de GNL que sobra en el tanque que se va llenando, hacia el espacio vacío que va quedando en los tanques del buque que, a su vez, se están vaciando de líquido.

Esa tubería también se utilizará para vehicular el vapor producido en el tanque, durante su operación normal, hacia el sistema de recuperación de vapor del Terminal. Y finalmente en casos de emergencia, o cuando sobra vapor durante la descarga de buques, la tubería de vapor permite vehicular ese vapor hacia el venteo o la antorcha del Terminal. Esta última utilización de la tubería de vapor de GNL será la que fije el dimensionamiento de la misma, al ser el caso más desfavorable por la posibilidad que existe de tener que evacuar volúmenes importantes de vapor (superiores a los que transitan de retorno al buque durante la descarga de éste). Puesto que el colector de la antorcha principal de la Planta es de 24", éste es el diámetro que se adopta para la tubería de vapor del tanque.

El vapor de GNL puede encontrarse a temperaturas de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$, por lo que la tubería de vapor de GNL dispondrá del correspondiente aislamiento criogénico.

En cuanto al sistema de recirculación de GNL, está destinado a mantener frías las tuberías criogénicas de llenado de los tanques durante el tiempo que transcurre entre las llegadas de los buques. La Terminal de Barcelona tiene dimensionado este circuito con un diámetro de 6". Esta línea se utiliza también para la puesta en frío del tanque, momento en el que no será necesaria para recircular GNL.

Habrán también tuberías de suministro de nitrógeno para purgado del tanque, de aire de instrumentación y del agua antincendios.

5.2.4 Soportes y rack de tuberías

Todas las tuberías irán debidamente soportadas según los cálculos detallados que efectúe el contratista adjudicatario de la instalación. Asimismo, las tuberías criogénicas estarán dotadas de las necesarias liras de expansión y de zapatas deslizantes bajo los soportes, para que puedan absorber sin peligro las deformaciones transitorias causadas por las diferencias de temperatura durante la puesta en frío y la operación normal.

Los soportes se soldarán a la estructura de acero que se utiliza como rack de tuberías, la cual se instala sobre la pared lateral del muro exterior del tanque y que será la encargada de mantener en su sitio todas las líneas que entran y salen del tanque (ver *Figura 12*). Esta estructura de soporte se prolonga en el suelo con una plataforma de acero de al menos 5 m de longitud, hasta el límite de batería del proyecto del tanque.

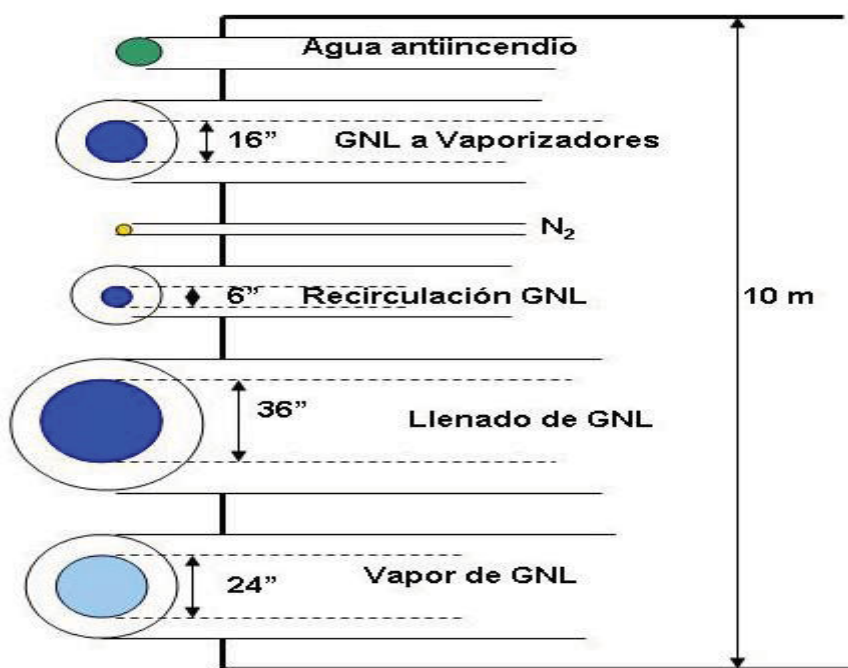


Figura 12 Rack de tuberías

5.3 Instalación eléctrica

5.3.1 Cables de caldeo

El calentamiento del terreno bajo el tanque para evitar su congelamiento (y el de la losa) se realiza por medio de cables eléctricos de caldeo, los cuales se instalan en el terreno próximos a la losa de cimentación y atravesando bajo el tanque de lado a lado.

ENAGAS ha definido que la temperatura máxima que alcance la losa de hormigón en su punto de contacto con el fondo del tanque sea de 7 °C. Colocando los cables de caldeo en la superficie inferior de la losa de hormigón, a 35 cm del fondo del tanque exterior, y utilizando los métodos de difusión de calor a través del hormigón, se determina que la temperatura máxima que pueden alcanzar los cables de caldeo es de 15 °C En el Anexo n° 3 se incluye el esquema de calentamiento bajo uno de los tanques existentes en el Terminal de Barcelona, como ejemplo.

Calculando la cantidad de calor generada por una resistencia eléctrica, se llega a la conclusión de que el calor necesario para mantener los 15 °C de forma constante en esa zona se consigue usando cables de caldeo de 50 W / m lineal de cable, colocados atravesando la placa de cimentación a intervalos de 1,2 m de longitud. Estos cables se instalan en el interior de conductos de acero inoxidable de 25 mm de diámetro para evitar que se dañen. En total se instalan bajo el tanque unos 3000 m de cable, por lo que se requiere un suministro eléctrico de: $3000 \cdot 50 = 150 \text{ kW}$.

El proceso de calentamiento se controla mediante la instalación de termopares (al menos 10, situados a media distancia entre dos cables de caldeo), cuyos datos se analizan y procesan en la Sala de Control.

5.3.2 Otras instalaciones eléctricas

Los motores eléctricos de las bombas primarias vienen incorporados en el cuerpo de las mismas. Cada uno de ellos requiere 280 kW para su funcionamiento, lo que representa un suministro total de potencia por tanque que asciende a 1 120 kW. Los cables de potencia entre las bombas y las cajas de conexión situadas en el exterior del tanque serán dimensionados por el suministrador de las bombas.

El tanque está dotado de una red de puestas a tierra utilizando conductores de 70 mm² de sección mínima que se entierran a una profundidad de 0,5 m en el terreno alrededor del tanque. También se instala un pararrayos en la coronación del techo del tanque.

Además hay que prever el sistema de alumbrado del tanque, el suministro eléctrico para el motor de la grúa que retira las bombas de su pozo respectivo, así como la alimentación eléctrica de los sistemas de control. Todo ello con su cableado correspondiente.

El suministro de energía eléctrica se efectuará desde el enganche previsto por ENAGAS en las cercanías del tanque. El control del mismo se realizará desde el panel de control común existente en la Sala de Control del Terminal.

5.4 Instrumentación y Control

5.4.1 Control de nivel del líquido

El control del nivel de GNL en el Tanque se efectúa por medio de tres sistemas diferentes que describiremos más adelante. Su objetivo es también triple (ver *Figura 13*):

1) Medición del nivel normal. Esto permite a los operadores conocer el nivel de GNL del tanque en tiempo real y programar las operaciones de llenado y alimentación de vaporizadores de forma que el Terminal funcione en su conjunto de forma óptima

2) Detectar un alto nivel de líquido. Tal como explicamos en el capítulo dedicado al dimensionamiento del tanque, durante el llenado de este existe en primer lugar un nivel de pre-alarma que indica a los operadores que se debe reducir caudal y comenzar los procedimientos de suspensión de la descarga del buque. Un poco más tarde (unos 1 000 m³ más de llenado) se llega al nivel de alarma, en el que se produce la parada de las bombas del buque y se prepara el cierre de las válvulas de corte. En el tercer y último nivel se produce el cierre efectivo de las válvulas.

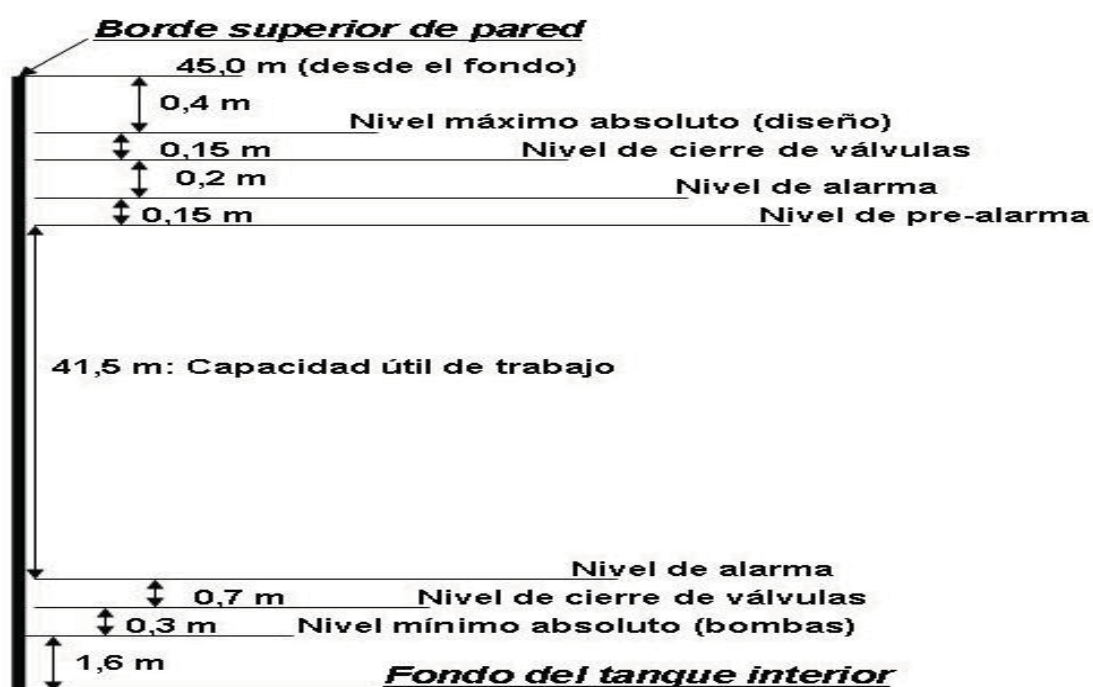


Figura 13 Niveles de GNL y alarmas

3) Detectar un nivel bajo de líquido. Como ya se ha indicado previamente, se debe mantener un nivel mínimo de líquido en el tanque (talón) que viene obligado por el cebado de las bombas y un margen de seguridad. El talón de GNL, además, ayuda a mantener frío el tanque. Durante la extracción de GNL la primera alarma se produce cuando se alcanza los 2,6 m de nivel de líquido: en ese momento debe comenzarse la parada de las bombas primarias situadas en el fondo del tanque. El segundo nivel de alarma corresponde al de

cierre de válvulas, y se produce cuando el líquido se encuentre a 0,3 m del nivel mínimo admisible: situado a 1,6 m del fondo del tanque.

Los tres sistemas de medición de nivel que se instalan para controlar el nivel del líquido en el tanque son los siguientes:

- Un sistema digital de temperatura (L – 201, en planos). En este sistema el elemento sensor de nivel de líquido se posiciona automáticamente en la interfase líquido-vapor, lo que consigue por intermedio de un termo-resistor doble (uno encima de otro) que detecta el diferencial de temperatura que existe entre el GNL y su vapor. La altura del sensor sobre el fondo del tanque se mide con una precisión de ± 1 mm, y la señal se envía a la Sala de Control donde se convierte en volumen, si se quiere.
- Un sistema clásico de flotador (L – 202, en planos). El flotador descansa sobre la superficie líquida, moviéndose a lo largo de una guía unida a fondo y techo del tanque. El flotador está ligado a un indicador de movimiento que está calibrado en mm de altura de tanque. Un transmisor electrónico envía la señal a la Sala de Control donde se procesa.
- Un sistema de presión hidrostática (L – 203, en planos). En este caso se trata de dos manómetros, uno ubicado en la parte superior del tanque para medir la presión “seca” del vapor de GNL, y el segundo instalado en la succión de las bombas criogénicas para medir la presión hidrostática del líquido. El sistema calcula la diferencia entre ambas presiones y deduce la altura de la columna hidrostática.

Cualquiera de los tres sistemas (y más frecuentemente los tres a la vez) sirve para medir y detectar las alarmas descritas previamente. En caso de activarse una alarma, las señales transmitidas sirven para accionar los actuadores de las válvulas de control correspondientes y, asimismo, alertar al Centro de Control de la anomalía.

5.4.2 Control de la presión del vapor

a) Sobrepresiones

Los vapores generados por el calentamiento del GNL se retiran del techo del tanque a través de una tubería de 26” destinada a ese propósito. La cantidad de vapor existente en la parte superior del tanque se controla de la manera que describimos a continuación.

En cuanto al propio tanque de GNL, en una situación normal el sistema de recuperación de vapor del Terminal estará operando comprimiendo el vapor que se evacúa del tanque para re-utilizarlo. Sin embargo en casos anormales, cuando se genera mucho vapor o el sistema de recuperación no funciona adecuadamente, y no puedan absorberse los vapores producidos, la presión en el tanque irá aumentando. Una vez que se superen los 130 mbar de presión, la válvula de control de presión instalada sobre la línea de vapor (PCV – 201, en los planos) se abrirá y el vapor sobrante se envía a través de ella al colector común de vapor de la Terminal. Desde ese colector el vapor se puede enviar a los otros sistemas de recuperación de vapor, o al venteo / antorcha si no existiera capacidad ociosa en los otros sistemas. La válvula continuará abierta hasta que la presión en el tanque baje a 100mbar.

Por el contrario, si la presión en el tanque desciende por debajo de 25 mbar, la válvula de control de presión (PCV – 201) citada se abrirá para dejar entrar al tanque vapor del colector común del Terminal y recuperar la presión. Esto permite además mantener una presión positiva en el interior del tanque.

Como elemento adicional de seguridad, para el caso extraordinario de que los sistemas normales de control fallen, se instalan en el tanque cuatro válvulas de liberación de sobrepresión (PRV, en inglés) las cuales se abren a la atmósfera cuando se supera la presión máxima permitida en el tanque.

b) Vacío

El tanque está diseñado para presión positiva en su interior. En caso de que se produjera un vacío dentro del tanque, esto puede provocar el colapso de toda la estructura. Para evitar que esto ocurra, el tanque se dota con una triple seguridad contra vacío:

- i) un primer escalón que permite la entrada de gas natural a través de una válvula de control conectada a la red de gas que alimenta el anillo de Barcelona a media presión (PCV – 202, en los planos) una vez que en el tanque la presión baja hasta igualar el valor de la presión atmosférica del ambiente exterior,
- ii) si la presión continuara bajando, se cortará la alimentación de las bombas (V – 201) y se parará el bombeo de líquidos,
- iii) por último, si todo lo anterior no es suficiente y la presión continúa bajando, se permitirá la entrada de aire atmosférico en el tanque por medio de las llamadas válvulas rompedoras de vacío.

c) Medición de presión

La presión en el tanque está monitorizada de forma continua a través de dos transmisores de presión que están conectados por un lado a la Sala de Control y, por otro al actuador de la válvula de control de presión (PCV – 201). Los transmisores están calibrados para operar en el rango de 0 a 200 mbar. El actuador de la válvula de control empezará a actuar cuando la presión alcance los 125 mbar (alarma de alta presión); por el otro lado, la actuación se produce cuando la presión llegue a 30 mbar (alarma de baja presión).

El vacío en el tanque se detecta por medio de un transmisor de presión diferencial conectado a la Sala de Control y a la válvula de rotura de vacío. La calibración será entre 10 mbar y -40 mbar de presión. El actuador de las válvulas de las bombas primarias (V – 201) recibirá la señal de cierre de este transmisor cuando la presión baje hasta 5 mbar, y la válvula de rotura de vacío se abrirá cuando se alcancen -30 mbar por debajo de la presión atmosférica existente en ese momento en el Terminal.

5.4.3 Controles de temperatura

Ya se ha comentado que se instalan los termopares bajo el tanque para controlar la temperatura del suelo.

Además es preciso conocer la temperatura del suelo y pared del tanque interior, en distintos puntos de los mismos, para determinar la densidad del GNL y detectar posibles problemas de roll-over. En la actualidad esto se consigue con un perfilador de temperaturas que permite medir la temperatura a cualquier altura del tanque.

También se mide la temperatura en el espacio entre el tanque interior y el muro externo para detectar acumulaciones de GNL. Este sistema de detección de fugas estará compuesto por al menos 4 sensores instalados alrededor del tanque (los cuales estarán duplicados además, por seguridad) y otros 4 instalados en una línea vertical sobre el cubeto de protección de esquina que se encuentra adosado a la pared exterior.

Por último, hay que señalar la importancia de poder determinar la temperatura de pared y suelo del tanque durante las operaciones de puesta en marcha del tanque, en las que es preciso proceder a un enfriamiento controlado del tanque para evitar roturas frágiles del acero por enfriamientos bruscos del mismo. Para ello se instalan termopares en la pared exterior (al menos cuatro) y en el fondo del tanque interior (no menos de ocho), así como en el fondo del espacio anular entre tanques.

Todos los cables de termopares y sensores son conducidos a una caja de conexiones en el exterior del tanque, utilizando para ello cables aislados térmicamente ubicados en conductos adecuados.

5.5 Sistemas de seguridad y contra-incendios

Un elemento fundamental para la seguridad de las personas y de las instalaciones en una Planta de GNL es el Sistema de Parada de Emergencia (S.P.E.) que funciona de manera independiente del Sistema de Control Distribuido (S.C.D.). El S.P.E. permite, entre otras cosas, bloquear unidades de proceso, activar alarmas o despresurizar de forma controlada zonas enteras de la planta, en los casos en los que el S.C.D. falle o sea incapaz de responder adecuadamente a un incidente. El sistema se diseña para minimizar las consecuencias de una fuga, reduciendo en primer lugar las cantidades derramadas, luego conteniendo los productos fugados y, finalmente, contrarrestando y/o eliminando el peligro.

Otro elemento que se instala en las Plantas de GNL es el Sistema de Detección de fuego y gas combustible, el cual se liga con el sistema de Intervención (o anti-incendios). El sistema de detección emplea detectores de humo, calor, frío, llama (ópticos) y de gas combustible, distribuidos por toda la planta, y que en caso de que se produjera una fuga harían saltar una alarma y pondrían en funcionamiento el mecanismo de respuesta. El sistema se completa con los elementos de intervención, el más importante de los cuales es la red de tuberías para el agua anti-incendios.

Al igual que el resto de las instalaciones existentes en el terminal de Barcelona, el tanque está dotado de los necesarios sistemas de detección de fugas, así como de prevención y lucha anti-incendios. Además de la detección de fugas por temperatura mencionada en el capítulo anterior, los sistemas a instalar o construir son los siguientes:

- Una zanja de recogida de derrames de GNL construida alrededor de la base del tanque y prolongada hasta la balsa de recolección líquidos existente en la zona común de Tanques del Terminal
- Cubetos de material criogénico instalados sobre la plataforma del techo del tanque, para recoger cualquier posible derrame de GNL que pueda producirse

en las líneas y válvulas allí ubicadas. Estos cubetos estarán comunicados con un colector común que vehiculará el líquido hacia la zanja de recogida de derrames situada en la base del tanque, a través de una tubería de desagüe

- Sistemas primarios de detección: detectores termo-voltaicos de alta temperatura, detectores ópticos de humo, detectores de llama, detectores de gas combustible y detectores de frío (derrames de GNL). Se colocan al menos cuatro detectores de gases combustibles y dos de frío cerca de las bridas de tuberías, en la plataforma del techo. También hay detectores de frío en la base del tanque cerca de la zanja de recogida de derrames de GNL
- Estaciones manuales de aviso de emergencias, tanto en la plataforma del techo del tanque como en las escaleras de acceso y escape
- Sistema distribuido de agua pulverizada, instalado en la cúpula del tanque externo (ver plano de tuberías e instrumentación del Tanque), y suministrado por una tubería de 14” de diámetro que está unida al sistema contra-incendios de la Planta. Este sistema se alimenta en primer lugar a partir de un tanque de agua dulce, que dispone de 500 m³ de capacidad; cuando este se agota, se bombea agua de mar al entrar en funcionamiento las dos bombas (una eléctrica, otra diésel) dispuestas al efecto, las cuales están conectadas a un cajón de captación sumergido en la bocana del puerto de Barcelona
- Sistemas de extintores (monitores de agua, hidrantes y mangueras, espuma, polvo seco y halón). Estos se instalarán tanto en la plataforma del techo como en el suelo alrededor del tanque
- Seguridad secundaria: circuito de TV, telefonía, control de accesos y central de seguridad
- Sistema de parada de emergencia (SPE), ligado al resto de los sistemas SPE de la Planta, que permita cortar todos los flujos de líquido y vapor desde y hacia el tanque y dejar éste aislado.

5.6 Accesorios

5.6.1 Plataforma y accesos

En el techo del tanque se instala una plataforma que está diseñada para soportar todas las tuberías con sus liras de expansión, válvulas y bridas, así como las bombas criogénicas, la grúa de mantenimiento y los demás elementos que se instalan en ese lugar. La plataforma se apoyará sobre el techo de hormigón, será de acero galvanizado y estará dotada con los soportes necesarios para equipos e instalaciones, así como de los debidos accesos, pasamanos y escaleras interiores. Además de contener todas las instalaciones, la plataforma se debe diseñar de forma que pueda ser utilizada para tender los cables de las bombas, durante su construcción y mantenimiento, de forma segura.



Figura 14 Modelo del techo del tanque

En el techo del tanque también se disponen pasarelas para poder acceder a todos los demás elementos del techo que no están en la plataforma: pararrayos, orificio visitable, tubo de relleno de perlita, instrumentación local y escalera de escape (ver *Figura 14*). Hay dos pasarelas, una circunferencial sobre el borde del tanque y otra atravesando el techo por su coronación.

Comunicando el suelo y el techo del tanque se instalan dos escaleras. La principal se utilizará como acceso a la plataforma y dispone de descansillos cada 6 m. La segunda es la escalera de escape y se ubicará del lado contrario a la plataforma del techo. Ambas serán de acero galvanizado.

En el interior del tanque también se instala una escalera desde el techo hasta el suelo, en acero inoxidable, que estará adosada a la tubería de llenado de GNL por el fondo.

5.6.2 Grúa de mantenimiento

Sobre la plataforma del techo se instala una grúa giratoria para dar servicio a las bombas criogénicas, las cuales se extraen por el techo del tanque con ayuda de esta grúa. La capacidad de la grúa es al menos un 50 % superior al peso de cada bomba, con todos sus accesorios y cables, a la distancia de la grúa al pozo de bombas más lejano o al lugar del suelo donde se da servicio a las bombas, cualquiera que sea más largo. La grúa está certificada para zona inflamable.

Alternativamente se puede instalar un puente-grúa móvil sobre raíles, dotado con dos maquinillas para izado de las bombas; la segunda actuará como reserva de la primera. La capacidad de las maquinillas no debe ser inferior a cuatro toneladas cada una y ambas dispondrán de un freno de activación rápida.

6 EJECUCIÓN DEL PROYECTO

6.1 Introducción

La ejecución del Proyecto se encargará a un contratista especializado en el diseño y construcción de tanques de GNL, mediante un contrato llave en mano. El Alcance del Trabajo a desarrollar por el contratista seleccionado incluirá todas las actividades necesarias para completar las instalaciones, y entregar el tanque operativo a ENAGAS, incluyendo:

- Ingeniería de detalle
- Adquisición de equipos y materiales
- Construcción de las instalaciones
- Puesta en frío del tanque.

En el Pliego de Condiciones del Proyecto se detalla el Alcance de cada uno de estos apartados. La *Figura 15* reproduce una secuencia de las fases por las que pasa la construcción de las instalaciones.

También se incluye en ese documento un borrador del Contrato con las condiciones generales y particulares que deberá cumplir el contratista adjudicatario de los trabajos, así como un listado de las especificaciones técnicas de ejecución. Además de las tareas correspondientes al Alcance de los trabajos, el Contratista seleccionado deberá encargarse de las siguientes actividades:

Seleccionar y movilizar los recursos humanos y tecnológicos necesarios

Definir los métodos y procedimientos a seguir para la ejecución de los trabajos

Implantar un sistema de aseguramiento de la Calidad

Reportar el progreso del trabajo y monitorizar los costes del mismo

Promover la prevención de accidentes y garantizar la salud y seguridad laboral.

Todo lo cual viene más específicamente desarrollado en el documento correspondiente al Plan de Ejecución del Proyecto que también se incluye en el Pliego de Condiciones, al igual que los documentos anteriores.

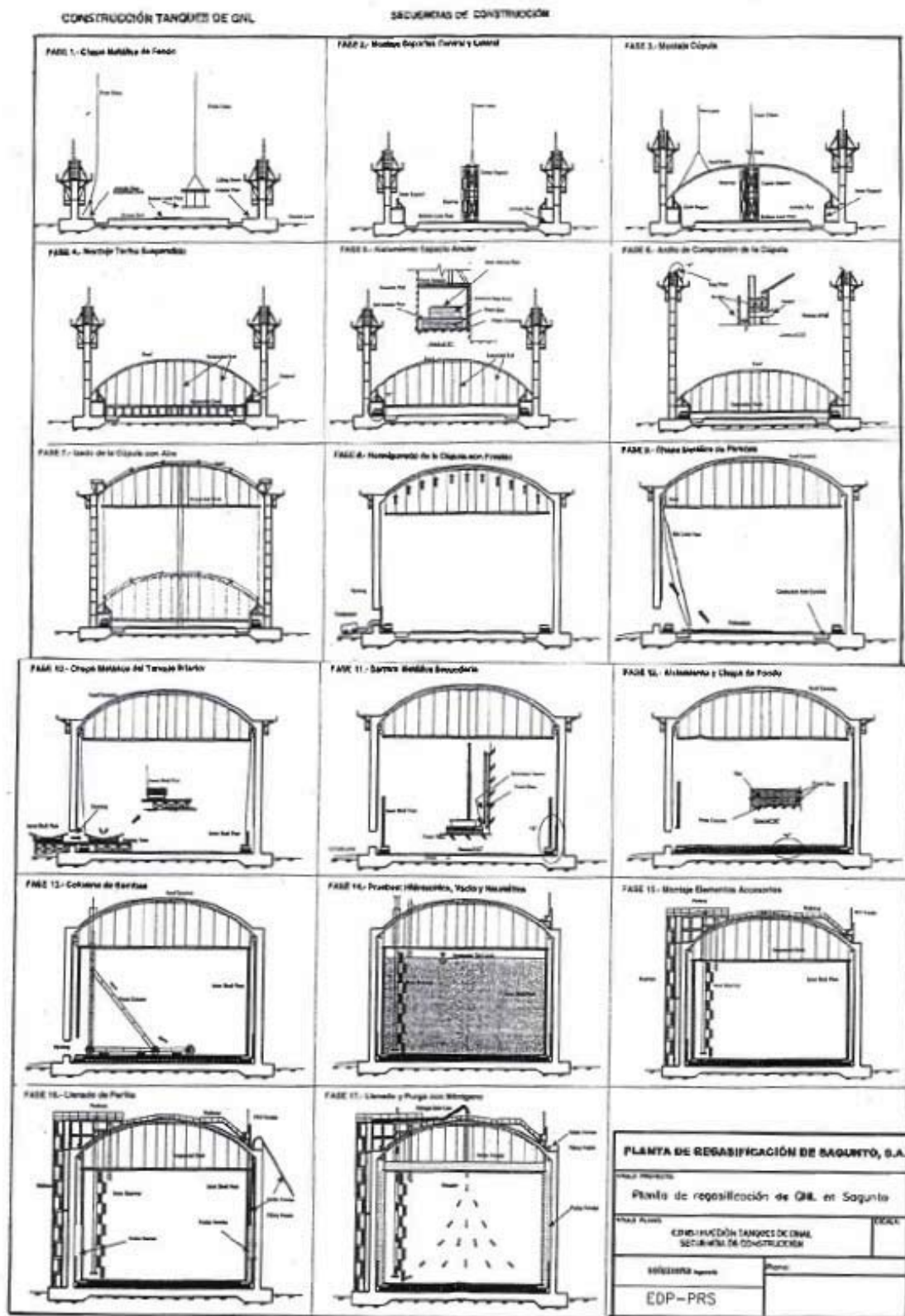


Figura 15 Etapas en la construcción de un Tanque de GNL

En definitiva, todo lo que concierne a la propia ejecución del proyecto por parte del Contratista seleccionado para ello, será tratado de manera detallada en el Pliego de Condiciones del presente Proyecto, al cual nos remitimos.

Sin embargo, y previamente al comienzo de las tareas correspondientes a la ejecución del Proyecto, la empresa deberá acometer las siguientes actividades:

1. Seleccionar y movilizar el equipo de Dirección del Proyecto
2. Gestionar y obtener los permisos administrativos necesarios
3. Preparar, lanzar y resolver el concurso internacional de ofertas para el EPC
4. Acometer los trabajos de excavación del cubeto y pre-carga del terreno
5. Planificar los trabajos, fijando los criterios para su ejecución
6. Presupuestar la inversión, de forma justificada.

En los capítulos que siguen se desarrolla el contenido de estas actividades iniciales, por su extrema importancia para la correcta ejecución del Proyecto posteriormente.

6.2 Dirección del Proyecto

El Equipo de Dirección del Proyecto se encargará de definir, preparar, dirigir, supervisar y aceptar todas las actividades del Proyecto en general y, especialmente las desarrolladas por el Contratista encargado de su ejecución. Previamente al arranque de los trabajos ENAGAS nombrará un Director del Proyecto que tendrá la responsabilidad última sobre los resultados finales obtenidos en cuanto a:

- Coste total de la inversión (objetivo de precio),
- Fecha final de entrega del Proyecto (objetivo de tiempo) y
- Condiciones técnicas y operativas del tanque de GNL (objetivo de calidad).

El equipo del Proyecto será elegido por el Director del Proyecto y estará compuesto por técnicos con experiencia acreditada en el diseño, construcción y operación de plantas de gas, criogénicas y/o de GNL. El personal se irá seleccionando e incorporando durante las etapas previas a la ejecución del Proyecto, según este vaya progresando; su composición final será similar al de la *Figura 16*.

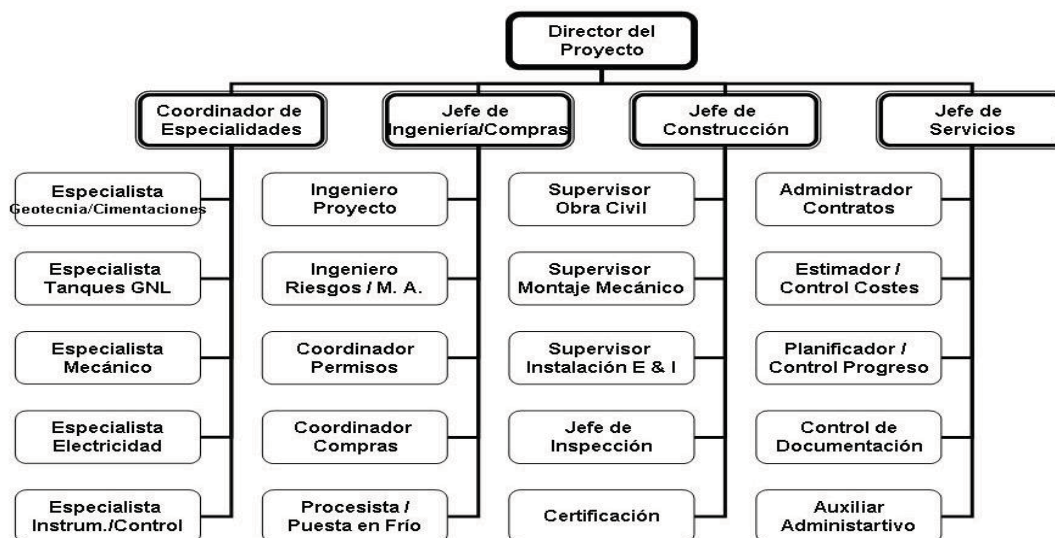


Figura 16 Organigrama del equipo de Dirección del Proyecto

En el desarrollo de sus funciones, la Dirección del Proyecto se fijará las siguientes prioridades:

- 1) Seguridad de las personas y de las instalaciones durante la operación del tanque y en el tiempo que dure la construcción del mismo;
- 2) Optimización de los Costes de inversión y control efectivo del Programa de ejecución del Proyecto;
- 3) Garantía de calidad en el diseño de las instalaciones, la fabricación de equipos y materiales y la construcción del tanque;
- 4) Comunicación fluida y colaboración entre todas las partes implicadas en la ejecución del Proyecto.

El equipo se encargará de reportar periódicamente el avance del Proyecto a la Dirección de la Compañía. También tendrá la obligación de señalar de forma inmediata cualquier incidencia que pudiera producirse y que afecte a la calidad de los trabajos, al tiempo previsto para su terminación o al importe aprobado. Para todo ello tendrá como referencias básicas el Plan de Ejecución del Proyecto, el Programa de Actividades y el Presupuesto de Inversiones.

6.3 Gestión de Permisos

Tan pronto como se complete el Proyecto Básico deberán iniciarse los trámites administrativos, de forma que se obtengan los permisos necesarios con la debida antelación al comienzo de las obras. En particular, en este caso, se trataría de los siguientes:

- Autorización de Instalaciones (Consejería de Industria de la Generalitat)
- Declaración de Impacto Ambiental (Ministerio de Medio Ambiente)
- Aprobación del Proyecto Constructivo (Delegación Provincial de Industria)
- Permisos de la Autoridad Portuaria (Junta de Obras de la Zona Franca)
- Licencia Municipal (Ayuntamiento de Barcelona).

La misma empresa de Ingeniería que realizó el Proyecto Básico se encargaría de preparar la documentación necesaria que ENAGAS presentaría en los diferentes organismos afectados junto con las solicitudes respectivas.

En primer lugar, la Autorización de Instalaciones requiere la presentación del Proyecto Básico en su totalidad incluyendo Memoria descriptiva, Planos de las instalaciones, Pliego de condiciones y Presupuesto estimado. De este Proyecto se emitirán además unas separatas relativas a las obras que afecten a las estructuras del Puerto de Barcelona, las cuales están destinadas a los trámites con la Autoridad Portuaria para que permitan el uso del suelo para almacenamiento de GNL.

En cuanto a la Declaración de Impacto Ambiental, se espera que el Ministerio de Medio Ambiente haya concretado ya a esas alturas la necesidad o no de realizar un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para el Proyecto del tanque de GNL. La principal afección al medio ambiente que produce la ampliación de instalaciones en la Planta de ENAGAS en Barcelona, está relacionada con el vertido de agua de mar fría procedente de los vaporizadores de GNL; en cuanto al tanque de GNL, objeto de este Proyecto, el impacto es fundamentalmente visual.

No obstante se debe estar preparado para realizar un Estudio de Impacto Ambiental, en el cual se considerará tanto la futura explotación del tanque como el proceso constructivo del mismo, proponiendo en ambos casos medidas de mitigación del impacto ambiental. La redacción de este Estudio se contratará a una empresa especializada en este tipo de trabajos que esté aprobada por el Ministerio.

Finalmente, en una fase posterior del Proyecto, cuando la Ingeniería detallada esté completada por parte del Contratista principal adjudicatario del Contrato de EPC, se emitirá el Proyecto Constructivo del Tanque, el cual se presentará a la Delegación de Industria en Barcelona para su aprobación. De este Proyecto Constructivo se extraerá la documentación relativa a la Obra Civil (excavaciones y zanjas, fundamentalmente) para la obtención de la Licencia Municipal en el Ayuntamiento de Barcelona.

6.4 Concurso de EPC (Ingeniería, Suministros y Construcción)

La estrategia de contratación de los trabajos de ejecución del Proyecto estaba ya definida previamente por parte de ENAGAS, en base a un contrato llave en mano que incluyera la totalidad de las actividades de Ingeniería, Suministros y Construcción (EPC) del tanque, el cual además se adjudicaría por un tanto alzado.

El equipo de dirección del Proyecto se encargará de preparar el paquete con la documentación necesaria para realizar el concurso internacional del EPC del tanque, bajo la modalidad llave en mano a tanto alzado (LSTK, por sus siglas en inglés). Este paquete estará compuesto por los siguientes documentos:

- Bases de la licitación
- Proyecto Básico
- Estudios de Riesgos (HAZID y ACR)
- Informe Geotécnicos
- Memoria de Impacto Ambiental
- Modelo pro-forma del Contrato, incluyendo Condiciones generales y particulares
- Términos de la Propuesta comercial.

En paralelo a la preparación o recopilación de estos documentos, se hará una pre-selección internacional de contratistas que estén habilitados para realizar este tipo de trabajos y que demuestren una experiencia no inferior a 10 años (o 3 tanques construidos) en la ejecución de los mismos. Para ello el equipo de dirección del Proyecto tendrá en cuenta las propias experiencias anteriores en la construcción de los tanques existentes en esta y otras Plantas de GNL pertenecientes a ENAGAS.

Las empresas pre-seleccionadas serán convocadas para que manifiesten su interés en el concurso de este Proyecto, requiriéndoles además la información actualizada necesaria

para confirmar su idoneidad en cuanto a la experiencia en obras similares, conocimientos requeridos y recursos disponibles (humanos, tecnológicos y financieros). En caso necesario se convocarán reuniones con estas empresas o se realizarán visitas a otras instalaciones ya terminadas o en fase de construcción.

La documentación del Concurso se enviará a las empresas o consorcios que superen la fase de pre-selección anterior. Durante la fase de preparación de las ofertas el equipo de dirección del Proyecto contestará a cuantas dudas o solicitud de información adicional planteen los consorcios ofertantes.

Una vez recibidas las ofertas se iniciará un proceso de tabulación de las mismas de acuerdo a las normas y criterios de ENAGAS. Durante este proceso se mantendrán diversas reuniones con los consorcios ofertantes con el fin de aclarar los términos de sus ofertas y conseguir uniformizar las propuestas recibidas. El proceso de tabulación y comparación de ofertas culminará con un Informe técnico-económico, que incluya una propuesta de adjudicación debidamente justificada, el cual se presentará a la Dirección de ENAGAS para que tome la decisión final.

Todos los detalles de la propia ejecución del Proyecto por parte del contratista seleccionado se encuentran descritos en el Pliego de Condiciones.

6.5 Obras preliminares

Los trabajos de Preparación de los Terrenos serán contratados directamente por ENAGAS con anterioridad a la adjudicación del Contrato principal de ejecución del tanque, de forma que el emplazamiento del mismo esté perfectamente acondicionado para cuando se movilice el Contratista del EPC. Esos trabajos iniciales consistirán básicamente en las siguientes actividades:

- Excavación del cubeto de contención del tanque hasta la profundidad de diseño, con terminación de taludes laterales y limpieza de escombros

- Recarga de los terrenos para su consolidación, de acuerdo con lo indicado en el Informe Geotécnico de Dames & Moore. Se utilizará para ello, y en la medida de lo posible, la tierra excavada para el cubeto de contención (ver *Figura 17*).

- Explanación de la zona de trabajo y de depósito de materiales que se facilitará al Contratista

- Construcción de la carretera de acceso

Campaña geotécnica adicional, en caso necesario.

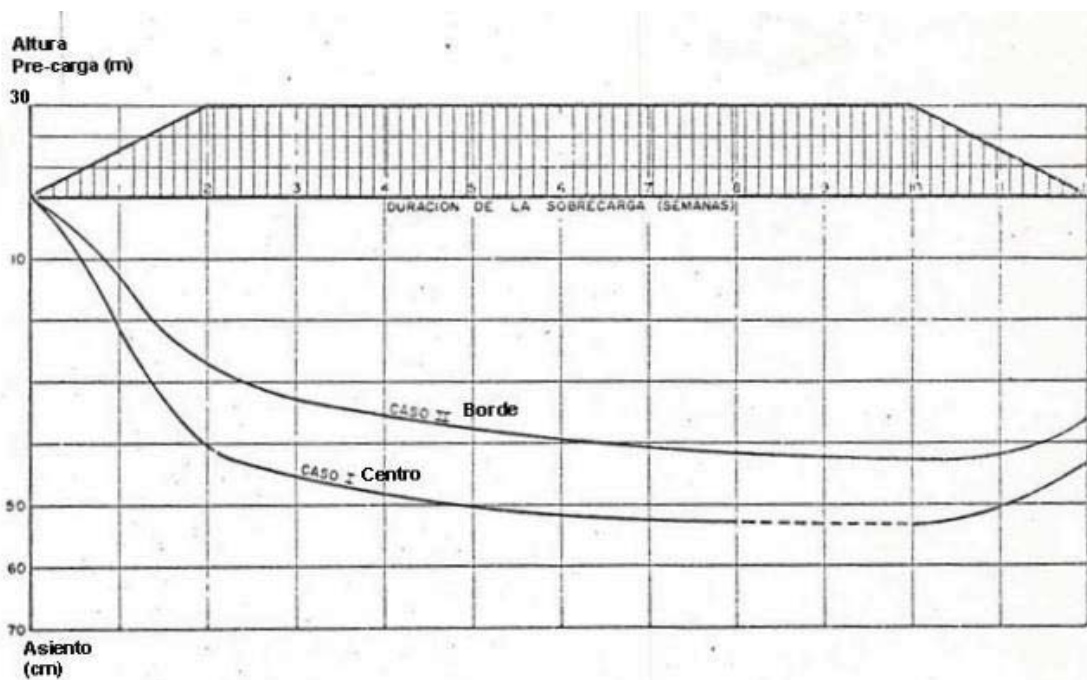


Figura 17 Pre-carga del terreno

6.6 Planificación de los trabajos

La Planificación avanzada de las actividades jugará un papel fundamental en el desarrollo del Proyecto. El Plan de Ejecución del Proyecto se incluye en el documento correspondiente al Pliego de Condiciones; en su redacción se tendrán en cuenta los siguientes criterios según las distintas fases de ejecución:

- Ingeniería Detallada: análisis estructural por elementos finitos; utilización de sistemas CAD avanzados; consideración de elementos prefabricados y equipos pre-montados; verificación y validación del Diseño básico; estudios de constructibilidad, seguridad de operación, ingeniería del valor y otros
- Fabricación de Equipos y Materiales: producción de una Lista de Suministradores aceptables para cada equipo/material; planificación y seguimiento de los pedidos en relación a las necesidades de obra; inspección exhaustiva de acuerdo con los Planes de Control de Calidad; gestión y apoyo logístico suficiente
- Construcción de Instalaciones: preparación adelantada de los terrenos para acortar el plazo de ejecución (ENAGAS); subcontratistas seleccionados de acuerdo con sus capacidades reales y nivel de experiencia; ejecución de los trabajos de acuerdo con los planos y especificaciones técnicas (minimizando las variaciones de obra);

reducción al mínimo de las reparaciones mediante un programa de Control de Calidad adecuado; respeto estricto de todos los requisitos de los Planes de prevención de accidentes y Seguridad laboral

- Puesta en Frío y primeras Operaciones: colaboración del Departamento de Operaciones de ENAGAS con el equipo del proyecto desde el principio, sobretodo en la revisión de los P & I, la realización de los HAZOP, la inspección y pruebas de equipos en fábrica, la supervisión del montaje en obra y, de forma más activa, en la Puesta en Frío del tanque.

Por su parte, el Programa Detallado de ejecución del Proyecto que prepare el Contratista contendrá todos los elementos del Alcance de los Trabajos de forma ordenada y coherente (actividades, hitos, predecesores/sucesores, camino crítico, holguras,...). Además se deberá prever la realización de un Análisis de Riesgos que, al igual que el Programa, se irá actualizando constantemente.

Durante la fase de Diseño Básico que culmina con el presente documento se ha preparado un Programa de ejecución que servirá de orientación para evaluar los programas que presenten los Contratistas ofertantes del EPC (ver *Figura 18*). El Programa se ha elaborado en base a la duración de los trabajos previstos, en función de los distintos elementos que componen el Proyecto del tanque.

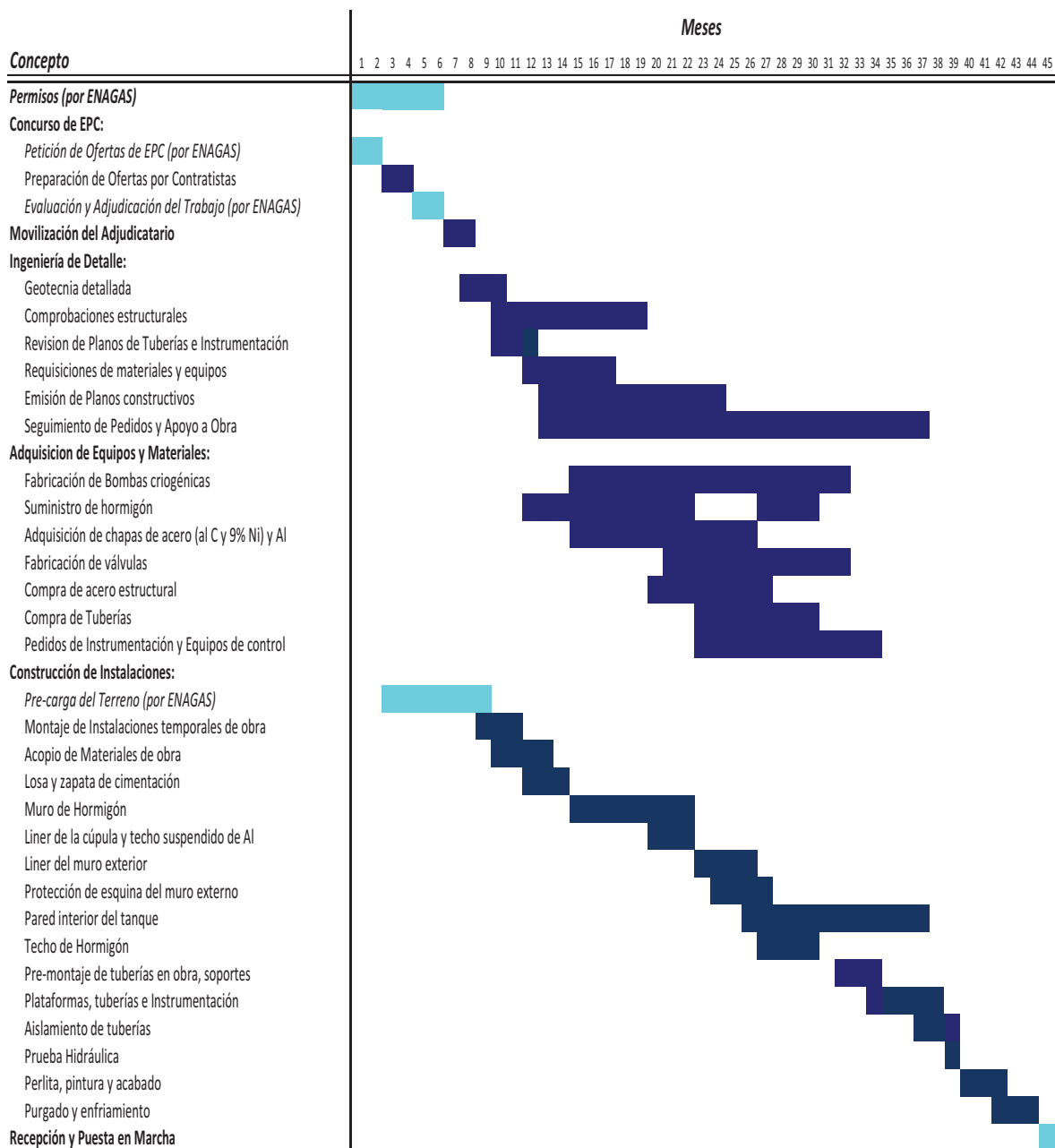


Figura 18 Programa de ejecución del Proyecto

En este programa se puede apreciar que la duración estimada para la ejecución del Proyecto es de 45 meses desde que se solicitan las ofertas de EPC; la duración del mismo EPC se calcula en 39 meses hasta la entrega del tanque a ENAGAS.

6.7 Estimación de Inversiones

También se ha efectuado una estimación de los Costes de inversión que representa el Proyecto incluyendo el precio del EPC llave en mano, cuya composición se presenta de forma detallada, así como los costes indirectos (fases previas, supervisión de los trabajos, permisos y tasas, otros costes propios). De acuerdo con las instrucciones recibidas del Cliente, ENAGAS, el Presupuesto se ha calculado de forma muy conservadora, incluye una fuerte provisión para Imprevistos y se considera que tiene una precisión de + 10%, - 0%.

El Presupuesto obtenido de esa manera se incluye desglosado en el documento nº 2 de este Proyecto, el Estudio Económico. El resultado, de forma resumida, es el que se muestra en la *Tabla 5* (en miles de euros):

Tabla 5 Presupuesto resumido

EPC llave en mano:		103 780
Dónde:		
	Ingeniería	10 550
	Suministros	25 940
	Construcción	67 290
Otros Costes		22 380
TOTAL		126 160

Las principales características de la metodología utilizada para realizar las estimaciones fueron las siguientes:

- las horas de ingeniería en gabinete se estimaron a partir del volumen de planos, especificaciones, informes y otros trabajos a realizar en relación con la verificación del diseño del tanque y el desarrollo de los planos constructivos
- los precios de los equipos y materiales se conocieron a través de pre-ofertas solicitadas a los futuros suministradores
- los trabajos de construcción se estimaron, para cada disciplina, en base a una media de los precios unitarios por hora trabajada y del coste de materiales facilitados por varios posibles contratistas

- la supervisión de los trabajos del EPC se calculó en base a la organización propuesta y el programa de ejecución previsto
- el coste de licencias, transportes, reprografía, comunicaciones y otros similares se estimaron por porcentajes respecto a las unidades correspondientes
- se consideró una escalación de costes del 5% anual (10% para los equipos y materiales de acero inoxidable) durante el periodo de ejecución
- los imprevistos se estimaron teniendo en cuenta la base de datos de la compañía correspondiente a experiencias previas.

En base a este Presupuesto se actualizó el Modelo económico del Proyecto, con objeto de confirmar la rentabilidad para la compañía de la inversión prevista. Los datos de entrada para el mismo fueron los siguientes:

- Duración del Proyecto: 24 años (cuatro de construcción, veinte de operación)
- Inflación: 3 % anual
- Canon de Almacenamiento, por día: 0,16 euros/m³ GNL, actualizado anualmente con la inflación
- Inversión estimada: 126,16 millones de euros
- Financiación: sin financiación externa (100 % Recursos propios)
- Gastos operativos: 3,15 millones euros (estimado como 2,5 % de la inversión)
- Impuestos: 35 % sobre Beneficios.

Con esos supuestos, la TIR del Proyecto resulta ser del 12,3 %.

7 PUESTA EN FRÍO Y OPERACIÓN DEL TANQUE

7.1 Puesta en frío

Una vez que se haya completado satisfactoriamente la prueba hidráulica del tanque y vaciado el agua, se procederá al secado primario insuflando aire caliente en el interior del tanque. Completada esta fase se efectuará el purgado de oxígeno que existe en el tanque mediante la inyección de nitrógeno, a presión de hasta 1 barg, de forma repetida hasta que la concentración máxima de oxígeno sea inferior a 0,5 % (volumen). Al final de ese proceso el tanque se mantendrá inertizado con nitrógeno. El contenido de oxígeno se chequeará de forma repetida mientras el tanque esté bajo atmósfera inerte, ya que es absolutamente imprescindible la ausencia de oxígeno antes de que el GNL ingrese en el tanque, por razones obvias de seguridad.

Llegado el momento de proceder a la Puesta en Frío, se efectúa en primer lugar el secado definitivo del tanque para evitar la formación de hielo durante la posterior bajada de temperaturas hasta $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$, ya que su presencia podría dañar los álabes de las bombas o bloquear el flujo de GNL en las tuberías. Para ello se inyecta nitrógeno caliente, a unos $65\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta que se alcance un punto de rocío en los gases de salida de $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ (equivalente a un contenido de vapor de agua de 1,5 ppm, en volumen).

El tiempo estimado para el secado del tanque es de unas dos semanas, dependiendo de la capacidad del equipo que esté suministrando el nitrógeno. Para asegurar un perfecto secado del tanque es necesario que todas las tuberías, equipos, instrumentación y accesorios del tanque se encuentren instalados en su posición final. Además, los instrumentos de presión y temperatura deberán estar funcionando para el seguimiento de los parámetros correspondientes al secado.

Una vez terminado el secado, y al objeto de evitar la entrada de humedad desde el medio ambiente exterior, se mantendrá una ligera presión positiva de nitrógeno en el interior del tanque. A partir de ese momento ya se puede comenzar la Puesta en frío del tanque.

Como es lógico, antes de la introducción de GNL el tanque deberá encontrarse a una temperatura próxima a la del líquido, al objeto de evitar tensiones excesivas en el acero por choque térmico. Una temperatura diferencial entre acero y líquido de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ es

aceptable, estando el límite situado en 39 °C. Este límite no debe sobrepasarse en ningún momento.

Para efectuar el enfriamiento inicial del tanque se puede utilizar nitrógeno vaporizado frío (a -170 °C) –producido por la misma fuente que el utilizado para el secado e inertizado- o GNL vaporizado (a -160 °C) del sistema de recuperación de vapores de GNL existente en la Planta de Barcelona. Durante la puesta en frío es fundamental el control continuo de temperaturas por medio de los termopares instalados al efecto, chequeándolos al menos cada hora. La velocidad de enfriamiento será de entre 4 °C/h y 5 °C/h como máximo, lo cual se consigue regulando el caudal de nitrógeno (o el vapor de GNL) que se está introduciendo en el tanque.

La fase de enfriamiento se dará por completada al alcanzarse los -140 °C en todos los lugares del interior del tanque. Todos los sistemas de llenado y servicio del tanque deberán encontrarse también a esa temperatura. Es muy importante que llegado este momento exista GNL disponible en las tuberías de acceso a este tanque, para proceder a la segunda fase de la Puesta en Frío lo antes posible.

Así, una vez alcanzados los -140 °C, la circulación de nitrógeno se interrumpirá y comenzará la introducción de GNL en el tanque desde las instalaciones existentes en la Planta, a través de las oportunas conexiones. Este GNL entrará en el tanque por el anillo superior que se instaló para ese propósito y que se encarga de pulverizar el GNL en pequeñas gotas, de forma que ninguna parte del acero del tanque resulte impactada de forma brusca por el líquido; ese dispositivo permite además que la balsa inicial de líquido se distribuya uniformemente y de manera continua sobre el fondo del tanque.

Todos los sistemas de instrumentación, seguridad y venteo del tanque deberán estar operativos en ese momento.

Una vez que se haya formado un talón suficiente de GNL en el fondo del tanque (los niveles tienen que estar operativos, por supuesto) ya se podrá introducir GNL por la tubería de llenado por el fondo. No obstante esto se hará de forma lenta y controlada al principio, observando la evolución de las temperaturas del acero de manera constante.

7.2 Operaciones normales

Tras la Puesta en frío, y una vez que se tenga suficiente GNL almacenado, ya se puede proceder a arrancar las bombas sumergidas y enviar GNL hacia los vaporizadores. Previamente a ello, no obstante, se debe comprobar que todos los sistemas involucrados funcionan correctamente y que las tuberías de salida están frías y con líquido circulando en su interior.

Es muy importante que las bombas no se arranquen mientras no exista GNL suficiente en el tanque, no ya por el peligro que supone que funcionen en vacío si no porque, además, el GNL es el elemento lubricante de estas bombas. También es importante respetar un periodo de “mojado” de las mismas de unas 4 horas para que toda la masa de las bombas alcance la temperatura criogénica.

Al principio el caudal de GNL para vaporizadores será una fracción del caudal de diseño. Este se incrementará gradualmente conforme se vayan dominando y controlando todos los parámetros de funcionamiento del tanque. En funcionamiento normal el caudal de las bombas sumergidas se controla mediante el seguimiento de su curva característica de funcionamiento, de forma que cuando la demanda disminuya el punto de funcionamiento se mueve hacia atrás y la bomba regula caudal (ver *Figura 19*).

Establecida la operación normal se deberá tener especial precaución en el control de la presión del vapor en el tanque, así como del nivel de líquido. En cuanto a la densidad se vigilará la formación de estratos de distinta densidad en el tanque, con el objeto de decidir si la siguiente descarga de GNL se efectuará en este tanque o en otro; y, si fuera en este, determinar si se realizaría por la tubería del fondo o por la ubicada en la parte superior del tanque. Esto es importante con objeto de evitar la formación de capas de distinta densidad en el GNL del tanque, la cual se origina cuando mantenemos una parte del líquido mucho tiempo en el tanque (lo que produce un GNL “viejo”, densificado por la prolongada vaporización) o por causa de las diferentes composiciones de los GNL descargados; una vez establecidas esas capas pueden ocurrir volteos bruscos de las mismas, en un fenómeno conocido como “roll-over”, volteos que pueden provocar vaporizaciones repentinas que suben la presión por encima de los valores admisibles y producen tensiones dinámicas excesivas en el cuerpo del tanque.

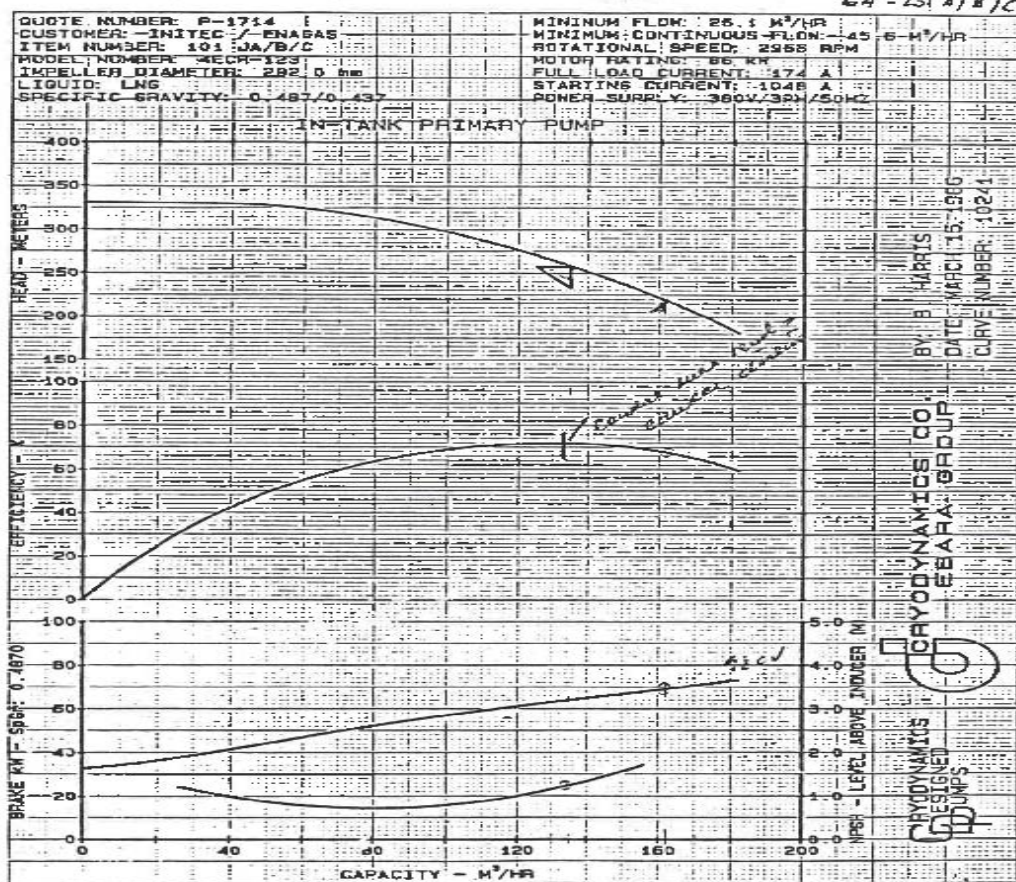


Figura 19 Curva característica de bomba criogénica

En el modo de operación normal las líneas de llenado del tanque deben mantenerse en frío mediante la circulación de una pequeña cantidad de GNL a través de ellas. Durante la descarga de un buque metanero hacia el tanque se comenzará con caudales pequeños de unos 1 500 m³/h, subiendo gradualmente hasta el caudal nominal; al finalizar las bombas del buque se irán parando una a una.

7.3 Filosofía de control

Todas las señales de los instrumentos instalados en el tanque se transmitirán para su proceso al Sistema de Control Distribuido (DCS, por sus siglas en inglés) ubicado en la Sala de Control de la Terminal. En esta Sala, y específicamente destinados al control de este tanque, existirán los siguientes elementos:

- una consola con pantalla y teclado que proporciona la interfase con el operador
- un panel de control con indicaciones de los instrumentos para funciones particulares
- una sección con alarmas y pulsadores de marcha/parada.

Las indicaciones en el panel de control serán al menos las siguientes:

Densidad / nivel / temperatura

Vibraciones de bombas

Presión de vapor

Nivel de líquido (redundante)

Densidad del GNL descargado.

Tanto el panel de control como los pulsadores estarán duplicados, y ubicados en el propio tanque.

El control de la presión de vapor es la más importante de las funciones de control durante la operación normal del tanque al objeto de minimizar la formación de vapor y las pérdidas energéticas consecuentes a su recuperación (o venteo). El criterio es que la presión absoluta del vapor existente en el tanque sea la misma que la correspondiente a la presión de vapor teórica del GNL que está en el tanque.

En cuanto a las bombas sumergidas, cinco sistemas se encargarán de su protección, a saber:

- Caudal excesivo o muy bajo
- Descebado
- Presión baja
- Vibración alta
- Amperaje excesivo.

Los controles de flujo protegerán las bombas para los casos extremos de que el caudal caiga a niveles inaceptables (lo que sería señal de rotura de un álabe o motor defectuoso), o se acelere en exceso (lo cual indicaría una fuga aguas abajo de la bomba o una válvula atrancada). En ambos casos una alarma sonará en la Sala de Control y los operadores se encargarán de parar la bomba afectada y poner en marcha la de respeto.

Como cualquier otro equipo rotativo importante, cada bomba criogénica estará dotada de un detector de vibraciones en su eje, cuya señal se conecta a un indicador en la Sala de

Control. Una alarma sonará cuando se alcance un nivel de vibraciones excesivo, según especificación del fabricante de la bomba.

Para evitar que la bomba esté funcionando en vacío durante el arranque, la válvula situada en el cebador próximo al fondo del tanque dispone de un temporizador que se activa en esos casos.

Por su parte el motor que mueve la bomba está protegido por un interruptor automático de amperaje excesivo, ya sea debido a un cortocircuito o cualquier otra causa.

Por último, conviene también recordar que el funcionamiento de los controles de presión del vapor y nivel del líquido en el tanque ya fue explicado en el capítulo correspondiente a Instalaciones.

7.4 Mantenimiento

Como cualquier otra unidad del Terminal de Barcelona, el tanque dispondrá de un Programa de Mantenimiento Preventivo que velará por mantener las instalaciones del tanque en condiciones operativas de forma permanente. El Programa tendrá una serie de tareas programadas de forma anual, mensual o diaria que se realizarán por el personal de la Planta. En el momento oportuno se sustituirán las partes marcadas en el Programa por los recambios correspondientes.

El mantenimiento de las bombas sumergidas es el más complicado de todos los componentes del tanque. El mantenimiento preventivo de estas máquinas se programará por fases, de forma que nunca se esté trabajando sobre dos bombas a la vez. La frecuencia del mantenimiento viene determinada por el suministrador de la misma -Ebara, en este caso-. Las bombas son extraídas por el techo del tanque, usando la grúa allí instalada (ver *Figura 20*). Una vez en la plataforma sobre el tanque, la bomba se coloca en un container para su protección durante la transferencia de la misma al Taller de Planta, que es donde se efectuará el trabajo de mantenimiento.

No obstante, y a pesar del mantenimiento preventivo, de vez en cuando pueden ocurrir problemas inesperados. Los elementos más afectados suelen ser los indicadores de nivel, temperatura y densidad, por un lado, y diversas anomalías en las válvulas de entrada o salida de GNL. Para reducir el impacto que estos incidentes tienen en la producción de la Planta, se dispondrán de suficientes repuestos en almacén de forma que los elementos averiados se puedan sustituir de forma inmediata. En cuanto a las válvulas, en algunos

casos se quedan atrancadas por excesiva formación de hielo en las compuertas o el árbol de maniobra, para lo que habrá que aislar el circuito afectado y calentar la válvula hasta que se resuelva el problema.

Es importante que el equipo de Mantenimiento de la Planta tenga acceso a los especialistas de Máquinas, Tuberías y de Control que están destinados en el Departamento Técnico de la Compañía, para poder resolver cuanto antes los problemas más complejos que se puedan presentar durante la operación de las instalaciones.

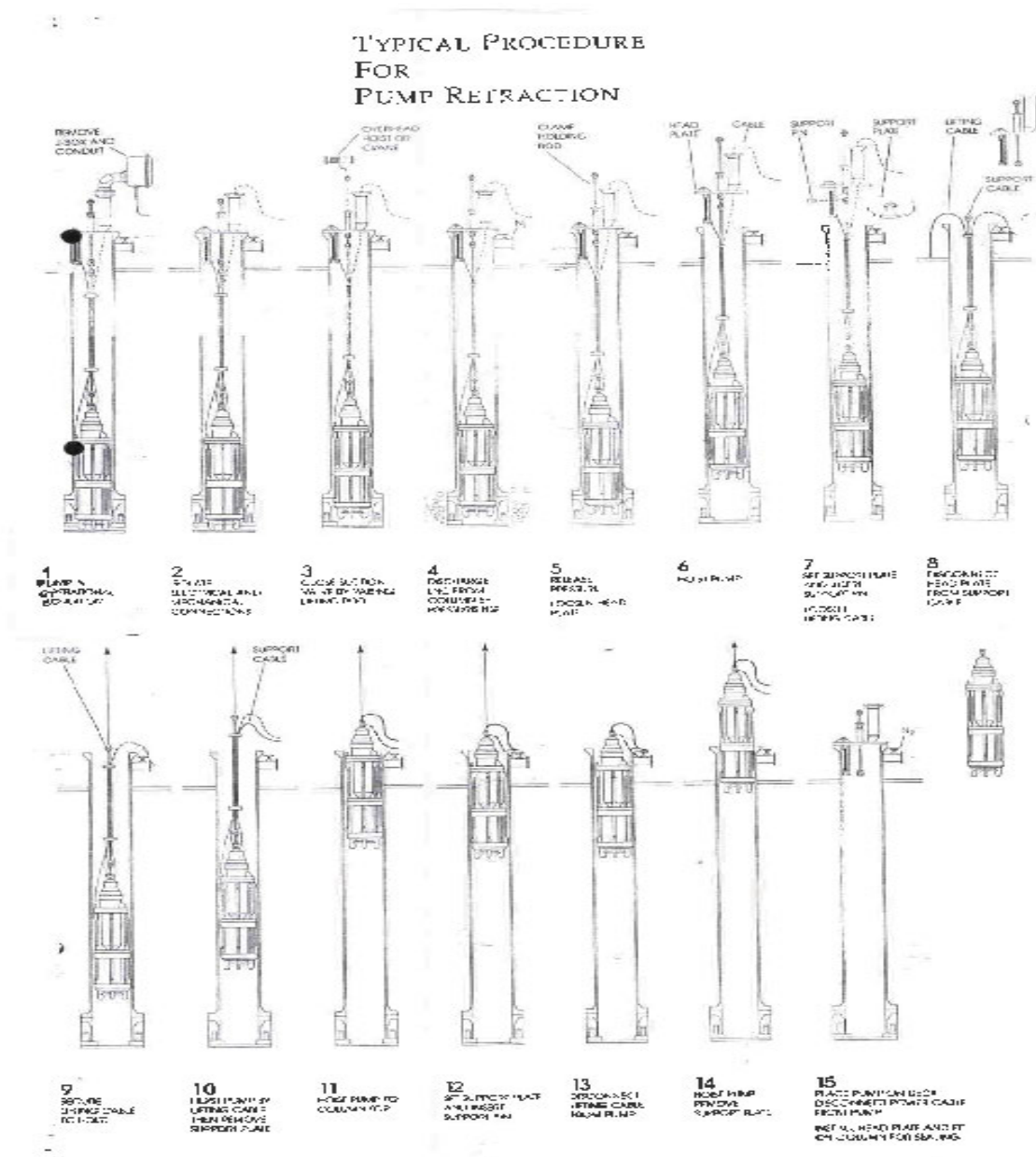


Figura 20 Maniobra de retirada de bombas

**TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GNL PARA LA AMPLIACIÓN DE LA
PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE BARCELONA**

Documento 2: ESTUDIO ECONÓMICO

1 INTRODUCCIÓN

El Documento n° 2 del Proyecto, denominado “Estudio Económico”, incluye por un lado la Estimación de la Inversión financiera necesaria para ejecutar el Proyecto (incluyendo también los costes incurridos previamente a su ejecución), y por otro, la realización de un Análisis de Rentabilidad extendido sobre la vida útil del Proyecto (4 años de Diseño y Construcción, más 30 años de Operación comercial).

En primer lugar el resultado final del Presupuesto de Inversión se presenta de forma detallada en el capítulo 4 del presente documento, dividido en dos grandes apartados: a) el coste del Contrato de Ingeniería, Compras y Construcción (EPC, por sus siglas en inglés) para la ejecución del proyecto; y b) los Gastos de la Propiedad.

Para la determinación del coste del Contrato de EPC se requiere efectuar previamente las Mediciones de las diferentes partidas que lo constituyen –lo que es el objetivo del *Capítulo 2-*, así como estimar los Precios unitarios o los costes tanto alzado de esas partidas (*Capítulo 3*).

Por su parte los Gastos de la Propiedad, o Costes Indirectos, vienen determinados directamente en el *Capítulo 4* en base a la información de otros proyectos similares ejecutados por ENAGAS recientemente.

Finalmente, en el *Capítulo 5* se presenta el Análisis de Rentabilidad del proyecto.

A requerimiento de la Propiedad, ENAGAS, las estimaciones para el EPC que se efectúan tienen en cuenta la posibilidad de acometer los trabajos de ejecución del proyecto con los mismos Contratistas que actualmente se encuentran construyendo los Tanques TK-3000 y TK-3001 en el Terminal, así como la posibilidad de incluir en un solo paquete los dos nuevos Tanques en proyecto, TK-3002 y TK-3003. De esa manera se eliminan gastos de movilización y desmovilización de personal y maquinaria y, por otro lado, se obtienen importantes beneficios de escala por la utilización de documentos (planos, especificaciones, etc.) y procedimientos que ya están disponibles.

De acuerdo con esas instrucciones de ENAGAS, además, todas las estimaciones se realizan en Euros y con su valor actualizado cada año (y no constante), de manera que se eliminen los riesgos que representan, por un lado, la fluctuación de las tasas de cambio y, por otro, la escalación de costes durante el período de ejecución del proyecto.

2 MEDICIONES DEL PROYECTO (CONTRATO EPC)

2.1 Horas de Dirección e Ingeniería

2.1.1 Dirección del Proyecto

La estimación de horas a gastar por el personal del Contratista de EPC en las tareas de dirección del proyecto, administración y gestión de recursos, apoyo de servicios especializados y otras actividades no incluidas en los apartados de Ingeniería, Compras y Construcción, se detalla en la *Tabla 6*.

Tabla 6 Estimación de horas del personal Contratista

<i>Tareas de Gestión, Control y Administración</i>	<i>Personal involucrado</i>	<i>Horas totales</i>
Apoyo a la Dirección del Proyecto	Estructura Corporativa	4 500
Selección, Movilización, Formación y Desmovilización del personal	Todo el personal	6 000
Planificación y Control del trabajo	Jefe de proyecto, Programadores	3 000
Preparación y revisión de Planes de ejecución, de Calidad, inspección y ensayos, de Seguridad; así como Procedimientos de Ingeniería, Compras y Construcción, y Manuales correspondientes	Jefe de proyecto, Ingenieros de proyecto, Jefes de Ingeniería, Compras y Construcción,	4 500
Gestiones comerciales y contractuales; administración de Recursos humanos	Administrador de contratos, Gerentes comercial y de RR. HH.	3 500
Apoyo informático, gestión de documentación y otros servicios	Jefe de servicios, especialistas y oficiales administrativos	8 000
	<i>TOTAL</i>	<i>29 500</i>

2.1.2 Ingeniería Detallada

En cuanto a los servicios de Ingeniería detallada que tiene que realizar el Contratista que ejecute el proyecto, la estimación de horas necesarias se presenta en la *Tabla 7*.

Tabla 7 Servicios de Ingeniería Detallada

<i>Especialidad Ingeniería</i>	<i>Tareas a realizar</i>	<i>Personal utilizado</i>	<i>Horas totales</i>
Proceso	P.E.P. 2.2	1 Procesista	600
Proyecto	P.E.P. 2.3	1 Ingeniero de proyecto Sr., 2 Ing. Junior	3 000
Obra Civil	P.E.P. 2.4	2 Especialistas (Sr. y Junior), 1 Calculista	2 300
Tanques y Estructuras	P.E.P. 2.5	1 Consultor externo, 2 Ingenieros de proyecto, 1 Especialista, 1 Calculista, 1 Proyectista	5 400
Máquinas	P.E.P. 2.6	1 Especialista	1 000
Seguridad y M. A.	P.E.P. 2.7	2 Consultores externos, 1 Ingeniero Proyecto	2 600
Implant. y Tuberías	P.E.P. 2.8	1 Especialista, 1 Ingeniero proyecto, 1 Proyectista	2 000
Electricidad	P.E.P. 2.9	1 Especialista	1 200
Instrum. y Control	P.E.P.2.10	2 Especialistas Sr.; 1 Especialista Junior	2 300
Apoyo a Compras	(*)	Especialistas e Ingenieros de Proyecto	4 000
Apoyo Construcción	(**)	Especialistas e Ingenieros de Proyecto	9 000
		<i>TOTAL</i>	<i>33 400</i>

Notas.-

(*) *Revisión de planos de fabricación, aprobación de modificaciones de Alcance y cambios de Especificaciones técnicas, visitas y reuniones con Suministradores*

*(**) Revisión de Procedimientos constructivos y Planes de obra, autorización de cambios durante los trabajos, aprobación de planos “as-built”.*

Tanto las horas de Dirección de Proyecto como las de Ingeniería Detallada mostradas en las tablas anteriores incluyen un 10 % de Imprevistos, con el objetivo de ofrecer un Presupuesto ligeramente conservador.

Los Gastos de Viajes y Visitas a fábricas y obra se consideran aparte.

Por su parte, el Estudio Geotécnico detallado será subcontratado a una compañía especializada en Geotecnia y valorado separadamente de las horas.

2.2 Equipamiento y Materiales

2.2.1 Equipamiento

De acuerdo con lo que fue determinado en la Memoria, se consideran los siguientes equipamientos principales de máquinas, sistemas e instrumentación:

- 4 Bombas criogénicas, con motor eléctrico y todos sus accesorios
- 1 grúa de izado de bombas
- 6 válvulas (6” a 36”) de control, automatizadas y motorizadas
- 20 válvulas de seccionamiento (6” a 24”)
- 130 válvulas de instrumentación, seguridad y by-pass (¾” a 3”)
- Sistema de agua pulverizada
- Sistema de parada de emergencia
- 18 detectores (4 de gases combustibles, 6 de frío, 4 de llama, ...)
- 38 termopares
- 6 indicadores de presión
- 4 medidores de nivel (flotador, presión diferencial, sónico y multi-sistema).

En cuanto a las tuberías se consideran las siguientes longitudes, según diámetros:

- 36”: 510 m
- 24”: 90 m
- 16”: 120 m
- 14”: 130 m
- 12”: 40 m

- 8": 370 m
- 6": 150 m
- 2": 300 m
- 1" y 1"1/2: 1 260 m;

además de las correspondientes boquillas de conexión, tubos de protección y accesorios (conos reductores, codos, bridas, conectores, tes, weld-o-lets, fondos, ...), así como 110 soportes de varios tipos para todas ellas.

Del material eléctrico hay que considerar los siguientes elementos principales:

- 6 600 m de cable eléctrico
- 300 m de bandejas de soporte
- 230 terminaciones
- 12 cajas de conexiones
- Cables de caldeo
- Sistema de alumbrado
- Puestas a tierra
- 1 panel de control.

2.2.2 Materiales

En cuanto a los materiales de construcción a incorporar en el Tanque, se consideran las siguientes cantidades como componentes de las mayores partidas, según ya se determinó en la Memoria del Proyecto:

- Chapa de acero al 9 % Ni (tanque interior y cubeto de esquina): 1 176 t
- Chapa de acero al C (barrera de vapor): 849 t
- Barras de acero corrugadas para el armado del hormigón (muro externo, cúpula y cimentación): 10 783 t
- Vigas de acero estructural (plataformas, escaleras, esqueleto de bóveda y refuerzos): 600 t
- Hormigón en masa (muro, cúpula, cimentación y fondos): 19 024 m³
- Perlita: 377 t
- Briquetas de "foamglass", 125 mm espesor (base del tanque): 15 400 m²

- Mantas de lana de vidrio, 100 mm espesor (techo suspendido): 38 500 m²
- Mantas de fibra de vidrio (en paredes): 19 800 m²
- Arena limpia (fondos): 1 200 m³.

Por su parte las longitudes de los cordones de soldadura a efectuar, según también se determinaron en la Memoria, serán las que figuran en la *Tabla 8*.

Tabla 8 Longitudes de los cordones de la soldadura

(valores en m)	Inoxidable – tanque interior	Inoxidable – cubeto esquina	Acero al C – Barrera vapor	Aluminio – Techo suspendido
Horizontal	4 059 (*)	460 (**)	864 (**)	--
Vertical	958 (*)	110 (**)	4 608 (**)	--
Suelo	7 610 (espesor: 6 mm y 8 mm)		3 934 (**)	--
Techo	--	--	4 429 (**)	(a determinar)

Notas.-

(*) *Espesor variable entre 6 mm y 27 mm*

(**) *Espesor: 6 mm.*

2.3 Construcción del Tanque

Presentamos en este apartado las unidades de obra que se deben ejecutar durante la construcción del tanque, en el orden aproximado en el que deben realizarse, así como el listado del personal necesario en cada caso y una estimación de la duración de las mismas.

2.3.1 Preparaciones y Cimentación del tanque

<i>Actividad</i>	<i>Personal y Maquinaria</i>	<i>Días</i>
Montaje de la oficina de obra, talleres de pre-montaje, campas de acopio de materiales, vestuarios y servicios, acometida eléctrica, traída de agua y demás instalaciones temporales. (Nota.- En lo posible, se utilizarán instalaciones existentes)	Encargado de obra, montadores, fontaneros, electricistas, peones	20
Excavación, aplanamiento y nivelación del terreno, incluso retirada de materiales sobrantes (50 % de los dos tanques)	Excavadora, niveladora, camiones, peones	10
Acopio de materiales: encofrados, refuerzos, alambres de acero corrugado (armaduras) y herramientas de armado, manipulación y vibrado del hormigón	Camiones, grúa, peones	
Suministro, vertido y nivelado del hormigón de limpieza sobre el terreno	Hormigoneras, albañiles, peones	7
Encofrado de la Losa de cimentación, colocación de armaduras de acero y entubado para cables de caldeo	Encofradores, ferrallistas, capataz	18
Suministro, vertido, vibrado y nivelado del hormigón correspondiente a la losa y a la zapata de la cimentación	Hormigoneras, albañiles, peones	16
Curado del hormigón		25

2.3.2 Muro externo y barrera de vapor

<i>Actividad</i>	<i>Personal y Maquinaria</i>	<i>Días</i>
Instalación de 4 grúas torre de ayuda a la construcción	Instaladores, operadores	35
Acopio y preparación de andamios, material de encofrado, hierro de armaduras, chapa de acero al C, perfiles en I y todas las herramientas necesarias	Capataz, montadores, peones; Camiones	
Montaje y armado de las trepas n° 1, 2 y 3; incluye encofrado, instalación de andamiajes y colocación de armaduras y conductos para los tensores	Encargados de obra, encofradores, ferrallistas, peones	18
Suministro, vertido, vibrado y curado del hormigón de las trepas n° 1, 2 y 3	Hormigoneras; albañiles, peones	14
Montaje y soldadura de la barrera de vapor en la pared vertical interna del tanque externo en trepas 1, 2 y 3	Soldadores, montadores; Máquinas de soldadura	8
Desmontaje trepas 1, 2 y 3	Capataz, peones	10
Montaje y armado, colocación del hormigón, soldadura de la barrera de vapor y desmontaje de las trepas 4, 5 y 6 primero, y de las 7, 8 y 9 después	(Igual que en los 4 apartados anteriores, referidos a las trepas n° 1, 2 y 3)	92
Instalación de la viga anular de acero al C, en la coronación del tanque externo	Encargado, montadores, soldadores, peones	9
Tesado de tensores, primera fase	Especialista, peones	6

2.3.3 Bases y Techos

<i>Actividad</i>	<i>Personal y Maquinaria</i>	<i>Días</i>
Acopio, incluido corte y preparación, de perfiles en I (bóveda) y chapas de acero (barrera de vapor y cubeto de esquina); acopio de briquetas de vidrio celular y arena		
Colocación y soldadura de las chapas de acero al C correspondientes a la barrera de vapor en suelo del tanque	Encargado, soldadores, montadores, peones	10
Montaje y soldadura de los perfiles en I (esqueleto) y de las chapas de acero al C (barrera de vapor) de la bóveda	Encargado, soldadores, montadores, peones	18
Colocación y soldadura en suelo de las chapas de Aluminio constituyentes de techo colgante	Encargado, soldadores, montadores, peones	12
Instalación de tirantes entre cúpula y techo colgante, colocación de accesorios y mantas de lana de vidrio	Encargado, montadores, peones	20
Preparación e izado neumático de la bóveda, incluido el suministro de las soplantes de aire	Especialista, capataz, peones; soplantes	5
Soldadura de bóveda a anillo soporte; apertura de orificios en techo para paso de tuberías, instrumentación y servicios	Encargado, soldadores, montadores, peones	20
Suministro, vertido y nivelado del hormigón de nivelación en suelo	Hormigoneras; albañiles, peones	8
Colocación de briquetas de vidrio celular y lecho de arena	Capataz, peones	14
Montaje y soldadura de las chapas de acero al 9 % Ni del cubeto de esquina	Encargado, soldadores, montadores	15
Encofrado y colocación de armaduras sobre la bóveda de acero, dejando aberturas libres para paso de tuberías (Tanque externo)	Encargado de obra, encofradores, ferrallistas, peones	35
Suministro, vertido y vibrado del hormigón en la cúpula del tanque	Encargado, albañiles, peones; Hormigoneras	16
Enfilado de tendones verticales y horizontales pendientes; tesado de los mismos	Especialistas, peones	40

2.3.4 Tanque interior

<i>Actividad</i>	<i>Personal y Maquinaria</i>	<i>Días</i>
Acopio de chapas de acero al 9 % Ni; preparación de máquinas de soldadura semi-automática y material de aportación		
Suministro, vertido y nivelado del hormigón de nivelación en suelo	Hormigoneras, albañiles, peones	8
Colocación de briquetas de vidrio celular y lecho de arena	Capataz, peones	26
Montaje y soldadura de la chapa de acero al 9 % Ni, constituyente de la base del Tanque interior	Encargado, soldadores, inspectores, peones	10
Montaje y soldadura de virolas de acero al 9 % Ni, n° 1 a 19, constituyentes de la pared del tanque interior	Especialista, encargado, montadores, soldadores, inspectores, peones; máquinas de soldadura	120
Comprobación de dimensiones; posibles correcciones	Topógrafo; soldadores	10

2.3.5 Estructuras, tuberías y equipamiento

<i>Actividad</i>	<i>Personal y Maquinaria</i>	<i>Días</i>
Acopio de acero estructural, tuberías, válvulas, bombas criogénicas, instrumentos y demás materiales		
Prefabricación de componentes estructurales, así como de tramos de tubería a montar en el tanque	Encargado, soldadores, montadores, peones	60
Instalación de acero estructural y soportes de tuberías en techo y paredes del tanque; montaje de plataforma exterior al tanque; instalación de grúa de izado	Encargado, soldadores, montadores, peones	60
Montaje y soldadura de tuberías de entrada y salida de GNL al tanque (incluidos pozos de bombas), de vapor de GNL y demás, con todos sus accesorios	Encargado, soldadores, tuberos; máquinas de soldadura orbital	40
Instalación de válvulas, by-pases, instrumentos y sistemas de seguridad y control	Encargado, soldadores, montadores, electricistas	40
Calorifugado de tuberías	Capataz, peones	40
Montaje de bombas criogénicas	Encargado, mecánicos	10
Instalación eléctrica	Encargado, electricistas	60
Pintura y acabado	Capataz, pintores	40

2.3.6 Pruebas, Aislamiento y Puesta en frío

<i>Actividad</i>	<i>Personal y Maquinaria</i>	<i>Días</i>
Bombeo y llenado de agua en tanque interior para realización de prueba hidráulica de resistencia del tanque	Ingeniero, capataz, peones; bombas de agua	16
Pruebas hidráulicas de tuberías		20
Vaciado, limpieza y secado del tanque interior	Capataz, peones; compresores y calentadores de aire	20
Instalación de las mantas resilientes en paredes internas	Capataz, peones	30
Cierre de la entrada al tanque en muro externo	Capataz, albañiles	10
Relleno de perlita entre paredes, incluido el suministro de material y montaje previo de maquinaria	Capataz, peones; cisterna, tolva y bomba	26
Presurización y pruebas neumáticas de estanquidad de tanque y tuberías	Ingeniero de proyecto, capataz, inspectores, peones; compresores de aire y manómetros	6
Inertizado y purga del tanque	Ingeniero de proyecto, capataz, inspectores; cisterna y equipo de N ₂	10
Suministro de GNL (ENAGAS) y Puesta en frío del Tanque; conexión a resto de instalaciones del Terminal	Ingeniero de proyecto, capataz, inspectores	20

3 PRECIOS Y COSTES UNITARIOS (CONTRATO EPC)

3.1 Dirección e Ingeniería

Para las horas de Dirección del proyecto, Gestión administrativa y Control de ejecución se ha estimado un precio unitario medio de 105 €/h. En cuanto a las horas de Ingeniería de Detalle y Apoyo a Compras y Construcción hemos considerado un precio promedio de 95 euros/hora. Estos valores derivan de una media ponderada de los siguientes precios unitarios tipo:

- Director de proyecto: 140 €/h
- Especialista senior: 115€/h
- Ingeniero de proyecto: 95€/h
- Técnico especializado: 75€/h
- Asistente junior: 60 €/h.

Además de las horas, se ha incluido en el apartado correspondiente un tanto alzado por los Gastos de viaje a obra y fábricas del personal de Dirección y de Ingeniería, el cual se ha valorado en 750 000 €. Asimismo el Presupuesto incluye una segunda partida para cubrir la ejecución del Informe Geotécnico detallado, por un importe de 200 000 €.

3.2 Equipamiento y Materiales

Los precios de los equipos a comprar para el proyecto se especifican directamente en el Presupuesto de Inversiones (*Capítulo 4*). En cuanto a los costes para los materiales utilizados en la construcción del tanque, se han asumido los siguientes valores:

- Chapa de acero inoxidable (9 % Ni): 8 200 €/t
- Chapa de acero al carbono: 1 750 €/t
- Alambre corrugado para armadura de hormigón: 1 250 €/t
- Hormigón en masa: 570 €/ m³.

3.3 Trabajos de Construcción

Para el personal de obra se han considerado los siguientes precios unitarios, en base a una jornada de 10 horas diarias (48 horas semanales):

- Jefe de Construcción: 160 €/h
- Ingeniero/Especialista/Jefe de Calidad: 120 €/h
- Supervisor de Obra: 110 €/h
- Inspector/Especialista junior: 100 €/h
- Capataz/Jefe de Grupo: 90 €/h
- Soldador de primera: 80 €/h
- Electricista/Técnico en Control: 80 €/h
- Tubero/Montador: 70 €/h
- Operador de maquinaria: 65 €/h
- Encofrador/Ferrallista: 60 €/h
- Obreros no especializados: 55 €/h.

En cuanto a la maquinaria, los precios utilizados para realizar el Presupuesto del proyecto, han sido los siguientes, por unidad y día de trabajo (*Nota.- Estos precios no incluyen el coste del operador del equipo*):

- Excavadora/Pala retro: 280 €/día
- Grúa torre: 1 500 €/mes
- Grúa de cadenas, 150 t: 700 €/día
- Grúa sobre ruedas, 70 t: 450 €/día
- Camión hormigonera: 240 €/día
- Camión de transporte, 30 t: 210 €/día
- Camión de transporte, 10 t: 140 €/día
- Grupo electrógeno de soldadura: 150 €/día

- Máquina de soldadura semi-automática (acero 9 % Ni): 90 €/día
- Compresor de aire, 25 m³/min: 120 €/día
- Equipo de radiografía completo: 80 €/día
- Soplante de aire (izado techo): 50 €/día
- Cisterna, bomba y manguera de perlita (autoportante): 390 €/día.

4 PRESUPUESTO DE INVERSIONES

El coste total del Contrato de EPC se obtiene a partir de las mediciones de horas, materiales y unidades de obra, presentadas en el *Capítulo 2*, aplicándoles los precios unitarios que fueron estimados en el capítulo previo al presente. En la Tabla que se incluye como *Anexo A* se presentan desglosados el coste del Contrato Llave en mano del EPC y los Costes Indirectos (Gastos propios y Pagos a terceros, fundamentalmente), con todos los valores indicados en miles de euros.

5 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

En base al Presupuesto anterior se actualizó el Modelo económico del Proyecto, con objeto de confirmar la rentabilidad para la compañía de la inversión prevista. Los datos de entrada para el mismo fueron los siguientes:

- Duración del Proyecto: 34 años (4 de diseño/construcción, 30 de operación)
- Inflación: 3 % anual
- Canon de Almacenamiento, por día: 0,033275 euros/MWh, actualizado anualmente con la inflación
- Inversión estimada: 87,5 millones de euros
- Financiación: 50 % Financiación externa, 50 % Recursos propios
- Amortización: lineal en 30 años
- Gastos operativos anuales: 2,0 % de la inversión (incluye fijos y variables)
- Impuestos: 30 % sobre Beneficios.

Con esos supuestos, la TIR del Proyecto resulta ser superior al 11 %. Los detalles del cálculo pueden verse en la tabla que se incluye en el Anexo B.

**TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GNL PARA LA AMPLIACIÓN DE LA
PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE BARCELONA**

**Documento 3: PLIEGO DE
CONDICIONES**

1 INTRODUCCIÓN

El Pliego de Condiciones contiene los términos y las condiciones que el Contratista seleccionado para ejecutar el Proyecto viene obligado a cumplir durante los trabajos de Ingeniería detallada, Adquisición de equipos y materiales y Construcción de las instalaciones objeto del Proyecto. El Pliego está compuesto por los siguientes documentos:

- Borrador de Contrato EPC (correspondiente a las Condiciones Generales)
- Alcance de los trabajos
- Plan de Ejecución del Proyecto
- Especificaciones técnicas
- Pliego de Condiciones particulares.

En primer lugar, el Contrato a firmar por ENAGAS y el Contratista del EPC contiene, incorporadas entre sus cláusulas, las Condiciones Generales aplicables a este Proyecto, en lo que es una práctica habitual de la industria. El Contrato se incluye como capítulo 2 del presente Pliego de Condiciones.

Por su parte, el Alcance de los Trabajos se incluye como capítulo 3 en este documento, en donde se presenta una versión resumida que simplemente enumera los elementos que componen el proyecto del Tanque. Esto también es lo habitual en un Contrato “Llave en mano” puesto que el Contratista está obligado a entregar el producto final completo y ajustado a las especificaciones y condiciones estipuladas. En todo caso, incluimos como capítulo 4 del presente documento un Plan de Ejecución del Proyecto (el Contratista tendrá que desarrollar el suyo propio en su momento) que desarrolla el Alcance de los Trabajos de forma detallada.

Por último, las Especificaciones Técnicas de obligado cumplimiento para el Contratista se ofrecen en forma de Listado en el capítulo 5, junto con las Condiciones Particulares (capítulo 6) que modifican o aclaran algunos de los términos de las Especificaciones o de las Normas aplicables.

2 PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

En Madrid, a

REUNIDOS

De una parte, mayor de edad, de profesión con domicilio en Madrid (28---).

Y de otra parte, mayor de edad, de profesión con domicilio en Madrid (28---)

INTERVIENEN

Don, en nombre y representación de la empresa ENAGAS, domiciliada en Madrid (28028), Avenida de América número 38 y con C.I.F. número A-....., en virtud de escritura de poder otorgada ante el Notario de Madrid, con fecha y número de Protocolo

Don, en nombre y representación de la empresa "XXXX EMPRESA CONSTRUCTORA, S.A.", con domicilio en Madrid (28---), Calle y con CIF número A-, en virtud de escritura de poder otorgada ante el Notario de Madrid, con fecha, bajo el número de Protocolo

Todas las partes se reconocen recíprocamente la capacidad legal suficiente para la firma del presente contrato y sus anexos, y al efecto

EXPONEN

1°.- Que ENAGAS desea le sean realizados los estudios previos, diseño, elaboración de los proyectos administrativos y de construcción, con suministro de equipos y materiales, la realización de la construcción y montaje con la Dirección Facultativa de las obras; la ejecución de los ensayos, inspecciones, pruebas, purgado y secado, enfriamiento, puesta en marcha y pruebas operacionales de un tanque de almacenamiento de GNL de 150.000 m³ (netos) de capacidad, en el Término Municipal de Barcelona en los terrenos que le han sido concedidos en trámite de concesión Administrativa por la Junta del Puerto de la Zona Franca, situándose los mismos en el espacio determinado para la situación del tanque de almacenamiento.

2°.- Que la Empresa “XXXX EMPRESA CONSTRUCTORA, S.A.” está interesada en la realización de dicho tanque, por lo que acudió al concurso convocado por ENAGAS, presentando una oferta técnica y económica para su ejecución.

3°.- Que ENAGAS, dentro de las ofertas recibidas, ha decidido adjudicar el concurso convocado a “XXXX EMPRESA CONSTRUCTORA, S.A.”, por lo que los comparecientes, en la representación que respectivamente ostentan, acuerdan formalizar el presente contrato para la ejecución del tanque de GNL en Barcelona, con sujeción a las siguientes

CL A U S U L A S

PRIMERA – OBJETO DEL CONTRATO

La empresa ENAGAS (en adelante, la PROPIEDAD), adjudica a “XXXX EMPRESA CONSTRUCTORA, S.A.” (en adelante, el CONTRATISTA), el contrato de ejecución “llave en mano” de un tanque de almacenamiento de GNL de 150,000 m³ (netos a -162°C y sin contar el espacio libre superior ni los 2,6 metros de talón inferior) de capacidad en condiciones de operación, a realizar en la Planta de regasificación que la Propiedad está instalando dentro del Término Municipal de Barcelona.

El contratista, en la ejecución de dicho tanque, asume la total responsabilidad de realizar los estudios geotécnicos y sísmicos que sean necesarios, el diseño del tanque, los proyectos administrativos y constructivos, instalaciones temporales, los suministros de equipos y materiales, transportes al emplazamiento, así como la construcción y montaje, asumiendo la Dirección Facultativa de las obras con la necesaria mano de obra,

especialistas y maquinaria y realizando los ensayos, inspecciones y pruebas, purgado y secado, enfriamiento, puesta en marcha y pruebas operacionales del citado tanque, todo ello de acuerdo con los documentos que se unen al presente Contrato como Anexos y todos aquellos Códigos y Especificaciones que se citan en los mismos.

SEGUNDA – REPRESENTANTE DEL CONTRATISTA

Durante la vigencia del presente Contrato, el Contratista estará plenamente representado, con facultad de obligarle en derecho frente a la Propiedad, por para todas las cuestiones que pudieran presentarse y sin que el mismo pueda ser modificado sin previo conocimiento y aprobación de la Propiedad.

TERCERA – REPRESENTANTE DE LA PROPIEDAD

Durante la vigencia del presente Contrato, la Propiedad estará plenamente representada frente al Contratista por _____, el cual no tendrá capacidad decisoria para introducir modificaciones al proyecto de ejecución del tanque o equipos y proceso constructivo, así como para obligar a la Propiedad en la adopción de modificaciones y trabajos por administración.

La Propiedad se reserva el derecho de modificar la persona designada como su Representante, si bien en este caso deberá ponerlo en conocimiento del Contratista de manera fehaciente.

CUARTA – DIRECCIÓN FACULTATIVA

El Contratista, dentro del contenido del presente Contrato, asume la Dirección Facultativa de las obras y para ello designará a un Técnico Titulado Superior de su organización, que asumirá la función de Director Facultativo, previo visado del Colegio profesional correspondiente, que tendrá plena responsabilidad en toda la fase de construcción y montaje del tanque e instalaciones auxiliares, fijando su residencia en el lugar de las obras.

QUINTA – PLAZO DE EJECUCIÓN

El plazo de realización del tanque objeto del presente Contrato finaliza el, de tal manera que deberá quedar terminada la puesta en frío del mismo, el día y sus pruebas operacionales antes del

Se entiende por terminación la puesta a disposición de la Propiedad del tanque, coincidiendo con la realización del Acta de Recepción Provisional, firmada por ambas partes y realizada con arreglo al Pliego de condiciones.

La ejecución de todos los trabajos que requiere la construcción y puesta de disposición de la Propiedad del tanque citado, deberá acomodarse al programa que se une al presente Contrato como Anexo nº

SEXTA – PRECIOS

El precio global de la ejecución del tanque asciende a la cantidad demillones de euros (valor en cifra), y su desglose económico para todas las partidas que engloba el documento “Alcance de los Trabajos”, su hoja adjunta y anexos, se une al presente Contrato como Anexo nº “Cuadro Económico”.

SEPTIMA – ARANCELES

En el precio recogido en la Cláusula anterior no se incluyen los aranceles, tasas de aduanas e impuestos que puedan gravar la importación de los materiales y equipo necesarios para la realización del tanque, por lo que el precio será incrementado en dichos importes, con el derecho para la Propiedad a las deducciones que recoge la cláusula de Impuestos.

Con la publicación del Real Decreto, por el que se ha establecido suspensión y reducción arancelaria a los bienes de inversión importados con determinados fines específicos, entre los que se encuentra el sector energético, el Contratista se obliga frente a la Propiedad, cuando las importaciones se realicen de países de la Comunidad Europea, a ponerlo en conocimiento de ésta con la debida anticipación, para que por la Propiedad se puedan obtener las exenciones y reducciones arancelarias. En el supuesto de que el Contratista considerase más conveniente realizar la importación de países no pertenecientes a la C.E., por resultarle más ventajosa la oferta de un tercer país, deberá remitir a la Propiedad previamente las peticiones de ofertas efectuadas, entre las que se encontrarán proveedores de la Comunidad Europea. La Propiedad, en el plazo de quince

días, prestará su conformidad a la petición realizada por el Contratista o bien, por el contrario, optará porque la adquisición se efectúe a proveedores de la C.E., ya figuren estos en la petición original del Contratista o no. En este último supuesto las diferencias de precios que se puedan producir en el coste de adquisición serán abonadas por la Propiedad.

OCTAVA – TRABAJOS ADICIONALES

Con independencia de la ejecución del tanque, la Propiedad podrá encomendar al Contratista la ejecución de trabajos adicionales, en base a un Presupuesto a tanto alzado o a precios por administración. Se une al presente Contrato, como Anexo nº un cuadro en donde se recogen los precios unitarios o por partidas alzadas, así como los precios por administración, para materiales, personal, maquinaria, y con determinación para los dos últimos del precio por hora, día, mes y, además, para la maquinaria en marcha y en paro.

Si la Propiedad solicitara al Contratista el suministro de materiales no incluidos en el precionario, la base del cálculo de repercusión para la Propiedad sería el precio de factura sin I.V.A. incrementado en un diez (10) por ciento.

NOVENA – MONEDA

Al tratarse de un Contrato “llave en mano” a ejecutar en España, todos los pagos que corresponda realizar serán satisfechos por la Propiedad en euros y las posibles variaciones que puedan producirse en la paridad del euro no producirán modificaciones en el precio total recogido en a Cláusula Séptima.

DÉCIMA – FACTURACIÓN

En atención a la importancia económica del proyecto a ejecutar y con independencia de ser un contrato “llave en mano”, el Contratista podrá facturar, siguiendo la normativa que tiene establecida lo Propiedad, con el carácter de “a cuenta”, los importes de la obra que se vayan efectuando, con arreglo al siguiente detalle:

1.- Proyecto.- Se facturará al 75 % (setenta y cinco por ciento) de cada una de las partidas que componen esta actividad, a la presentación a la Propiedad del correspondiente proyecto parcial de detalle y dado el visto bueno por la Propiedad y el 25% (veinticinco por ciento) restante, a la presentación a la Propiedad de dichos proyectos visados por el Colegio correspondiente.

2.- Instalaciones temporales.- Se facturará cada una de las partidas que componen esta unidad de obra a la terminación de su ejecución y aceptación por parte de la Propiedad.

3.- Construcción.- Las partidas que componen la fase de construcción se facturarán de acuerdo a lo siguiente:

3.1. Cimentación: (1) Un pago a la terminación de su ejecución.

3.2. Depósito interior: el 50% (cincuenta por ciento) del precio al 50% (cincuenta por ciento) (medido en metros de altura) de su ejecución y el 50% (cincuenta por ciento) restante a su terminación.

3.3. Techo interior: (1) Un pago a su terminación.

3.4. Muro exterior: análogo a lo indicado para el depósito interior.

3.5. Cúpula con tubuladuras: el 20% (veinte por ciento) del precio al comienzo de la fabricación in situ y el 80% (ochenta por ciento) restante a su terminación.

3.6. Aislamiento: (3) tres pagos correspondientes al precio de cada una de las tres (3) actividades (base, perimetral y techo) y a la terminación de las mismas.

3.7. Prueba hidráulica: (1) un pago a su terminación.

3.8. Escaleras y demás estructuras: análogo a lo indicado para el depósito interior.

3.9. Tuberías, válvulas, electricidad e instrumentos:

- (3) tres pagos de la siguiente forma:

- El 20% (veinte por ciento) al comienzo de su montaje.
- El 30% (treinta por ciento), al 50% (cincuenta por ciento) de progreso alcanzado.
- El 50% (cincuenta por ciento) al finalizar su instalación.

3.10. Pintura exterior y terminaciones: (1) un pago a su conclusión.

4.- Pruebas.- las partidas que componen esta actividad se facturarán de acuerdo a lo siguiente:

4.1. Purgado y secado: dos (2) pagos, como sigue:

- 30% (treinta por ciento) a la aprobación del procedimiento de detalle.

- 70% (setenta por ciento) a su terminación.

4.2. Enfriamiento y puesta en marcha: análogo a lo indicado para el purgado y secado.

4.3. Pruebas operacionales: un (1) pago a la terminación de las mismas.

5.- El saldo de los materiales verificados y aceptados destinados a la construcción del tanque y acopiados en Obra cada final de mes, tanto de origen español como de

importación, se certificarán a cuenta por el 50% (cincuenta por ciento) de su valor con arreglo al listado de precios unido al contrato. Los citados materiales deberán llegar a Obra de acuerdo a la programación y perfectamente identificados, puesto que el importe de estos acopios y su facturación se irán deduciendo a la hora de ir facturando las partidas que componen el punto 3, Construcción. El saldo de este concepto nunca podrá superar la cifra garantizada por el Aval del fiel cumplimiento.

6.- El pago de las distintas certificaciones tendrá el carácter de provisional y a buena cuenta.

Para la confección de estas facturas, el Contratista elaborará y entregará previamente las certificaciones firmadas por el Director Facultativo a la Dirección de Obra de la Propiedad, dentro de los diez (10) días siguientes, respecto de aquellos hitos de avance real establecido que se hayan cumplido en su totalidad, disponiendo la Dirección de Obra de la Propiedad de quince (15) días para proceder a su aprobación o rechazar aquellas partidas que no sean procedentes.

El Contratista, obtenida la aprobación de la Dirección de Obra de la Propiedad, elaborará la correspondiente factura, disponiendo la Propiedad de 15 días para su aprobación.

Confeccionada la factura con arreglo a lo establecido en los párrafos anteriores, y puestos en relación los avances reales ejecutados con el programa de ejecución de los trabajos (Anexo nº ...) se deducirá del total importe la parte correspondiente a la aplicación de la penalidad, de existir ésta, y se fijará en la factura la retención en garantía de fiel cumplimiento.

DÉCIMO PRIMERA – FACTURACIÓN DE TRABAJOS POR ADMINISTRACIÓN

El Contratista facturará mensualmente los trabajos por administración que le hayan sido encargados expresamente por la Propiedad. En dicha facturación se incluirán todas las certificaciones debidamente justificadas, tanto para el personal, maquinaria y materiales, como para los gastos reembolsables.

Dichas certificaciones deberán ser entregadas a la Dirección de Obra de la Propiedad dentro de los diez (10) días siguientes, disponiendo ésta de (15) quince días para su aprobación o rechazar aquellas partidas que no sean procedentes.

El Contratista, obtenida la aprobación de la Dirección de Obra de la Propiedad, elaborará la correspondiente factura, disponiendo la Propiedad de (15) quince días para su aprobación.

DÉCIMO SEGUNDA – FORMA DE PAGO

El pago de las facturas será realizado por la Propiedad mediante transferencia bancaria a los sesenta (60) días de la fecha de aprobación por la Propiedad.

En el supuesto de que existan entre las partes desacuerdos con respecto a alguna de las partidas de cualquier certificación, las mismas serán excluidas de la facturación, pagándose el resto en la forma establecida anteriormente.

Las partidas rechazadas, una vez solventado el desacuerdo, serán facturadas.

A la terminación de las obras y recepción provisional de las mismas se practicará una liquidación final provisional y transcurrido el plazo de garantía se procederá a la liquidación final definitiva. Por consiguiente el pago de las cantidades abonadas durante la ejecución de las obras no supone aprobación de la calidad de la obra efectuada y de su bondad y garantía, estando tales cantidades sujetas a la liquidación final y a la ejecución del trabajo encomendado en su totalidad.

DÉCIMO TERCERA – IMPUESTOS

Será por cuenta de la Propiedad el pago de las licencias municipales de obras que correspondan y existiendo la obligación por parte de ésta de obtenerlas con la debida anticipación para que no se distorsione el programa de ejecución de los trabajos y, a estos efectos, el Contratista se obliga a entregar el proyecto constructivo, debidamente visado por los Colegios correspondientes y con el número de copias necesario para que la Propiedad pueda obtener dichas licencias municipales con la antelación suficiente.

Las facturas presentadas por el Contratista a la Propiedad serán incrementadas con el Impuesto sobre el Valor Añadido.

DÉCIMO CUARTA – FINANCIACIÓN

El contratista, cuando la Propiedad se lo solicite, colaborará en la financiación a través de la línea de Grandes Bienes de Equipo, o cualquier otra que se establezca. Los gastos, intereses, comisiones, etc., derivados de esta operación serán

cargados directamente a la Propiedad, por el Banco gestor, no estando por tanto incluidos en el precio contractual.

DÉCIMO QUINTA – RECLAMACIONES DEL CONTRATISTA

Las posibles reclamaciones que puedan presentarse por el Contratista a la Propiedad en la ejecución de cualquier trabajo efectuado, ya sea respecto al Tanque o a cualquier otro adicional, necesariamente deberán presentarse dentro de los treinta días siguientes a la fecha en que se produzca el hecho que da lugar a la reclamación y a su vez la Propiedad está obligada a fijar su posición dentro de los treinta días siguientes, de tal manera que si transcurrido dicho plazo no se hubiese producido una decisión de la Propiedad, deberá entenderse como rechazada, debiendo iniciarse por el Contratista dentro de un plazo de treinta días la petición de iniciación del arbitraje, ya que, en caso contrario, se entenderá que se renuncia a la reclamación.

DÉCIMO SEXTA – REVISIÓN DE PRECIOS

De acuerdo con lo recogido en la Cláusula Séptima, PRECIO, la entrega del tanque del GNL constituye un precio alzado y cerrado que no sufrirá variación durante el desarrollo de los trabajos por ninguna causa, como la alteración de los índices de precios o el cambio en la paridad de la moneda.

Cuando se produzca un retraso en la ejecución del tanque por orden expresa de la Propiedad, el precio será revisado sobre las partidas o hitos que sufran retraso por este concepto, mediante la aplicación de un coeficiente de 1,01% mensual de retraso.

DÉCIMO SÉPTIMA – INTERÉS DE DEMORA

El abono de las reclamaciones aceptadas en la construcción del tanque o en los trabajos adicionales por Administración que puedan presentarse por el Contratista a la Propiedad, no devengarán intereses de demora durante el período comprendido entre la ejecución de los trabajos objeto de la reclamación y la aprobación de los mismos por la Propiedad.

DÉCIMO OCTAVA- PENALIDADES

La necesidad de disponer del tanque para su explotación comercial en el plazo previsto en el Contrato, dadas las graves repercusiones económicas que pueden derivarse, exigen un seguimiento absoluto del programa y un reforzamiento de las penalidades a aplicar por retrasos, estableciéndose que por cada día natural de retraso en la consecución de los plazos parciales -con arreglo al programa unido al presente Contrato como anexo nº ...- producirá una penalización del 0,05% del total contratado del tanque. El importe total que alcancen las penalidades correspondientes a este apartado, son recuperables por el Contratista en caso de que éste cumpla con la fecha indicada para el inicio de la puesta en frío.

Independientemente de la penalidad recogida en el apartado anterior, por cada día natural de retraso sobre la fecha comprometida para la terminación de la puesta en frío del tanque, la penalidad a aplicar será del 0,15% del importe total de dicho tanque.

En ambos supuestos, la Propiedad queda autorizada a aplicar las penalidades que correspondan a las facturaciones que le sean presentadas al cobro.

Las penalidades por retraso no pueden exceder del veinte (20) por ciento del precio.

Únicamente quedan excluidos del concepto de aplicación de penalidad aquéllos retrasos que se produzcan por decisión debidamente comunicada por la Propiedad al Contratista, que supongan paralización o suspensión de los trabajos y los que sean consecuencia de acontecimientos que no hubieran podido preverse o que previstos fueran inevitables en los términos y alcance que determina el artº 1.105 del Código Civil.

DÉCIMO NOVENA – PERMISOS OFICIALES

El Contratista procederá a la designación de un Técnico Titulado Superior para la firma del proyecto global, visado por el Colegio Oficial correspondiente, de tal manera que dicho proyecto permita tramitar y obtener la autorización del Departamento de Industria y Energía de la Generalitat. El mismo criterio se aplicará con respecto a la Dirección Facultativa.

Así mismo, serán por cuenta del Contratista todos los proyectos parciales de detalle que sean necesarios, procediendo a su firma y visado oficial en el Colegio correspondiente.

De igual forma, será por cuenta del Contratista la elaboración de cualquier otro tipo de proyecto o Anejo técnico que pueda ser requerido por los Organismos Oficiales para la realización de las obras o para solicitud de permisos, autorizaciones y licencias. Con la única excepción de las tasas que correspondan por el otorgamiento de la licencia de obras, y las de visado de los Colegios correspondiente, todas las demás tasas, arbitrios, impuestos y honorarios, serán por cuenta del Contratista.

VIGÉSIMA – MANUAL DE COORDINACIÓN

El Contratista se obliga, en el más breve espacio de tiempo, a la presentación a la Propiedad de un Manual de Coordinación y Procedimiento que regulará, entre otros extremos, los siguientes:

- División del trabajo.
- Normas y sistemas de unidades.
- Códigos de identificación.
- Procedimiento de correspondencia y distribución de documentos.
- Procedimiento de supervisión por la Propiedad de documentación, planos y pruebas.
- Régimen de informes.
- Archivo.

El Contratista pondrá a disposición de la Propiedad espacio y medios suficientes para el desempeño de sus funciones en sus propias oficinas o en las de cualquiera de sus afiliados, así como en la propia obra.

Los gastos que se produzcan por desplazamientos y estancia del Representante de la Propiedad o cualquier otro personal designado por ella, serán de cuenta exclusiva de la misma.

Con el fin de permitir la inspección y vigilancia, el Contratista facilitará a las personas designadas por la Propiedad la vista y examen de cualquier proceso, ensayo o estudio.

El Contratista queda obligado a facilitar a la Propiedad un completo control de los trabajos por Administración, así como el control de su costo y el de aquellos gastos que sean reembolsables, todo ello de acuerdo con el procedimiento de coordinación que se establezca.

La Propiedad tendrá libre acceso al control e información de los trabajos efectuados por el Contratista, así como del desarrollo de toda la obra, pruebas y ensayos, procurando no entorpecer la normal ejecución de los mismos.

Lo dispuesto en esta Cláusula como obligación del Contratista, será extensible a todos los Subcontratistas que intervengan en cualquier fase o desarrollo del Proyecto.

La Propiedad, ante actos u omisiones que perturben la buena marcha de los estudios, comprobaciones o actuaciones inspectoras, podrá exigir al Contratista la adopción de medidas correctoras que restablezcan la eficacia y ejecución de lo pactado y todo ellos in perjuicio de lo dispuesto respecto al cumplimiento de los plazos y a las causas de resolución del Contrato.

VIGÉSIMO PRIMERA – SUSTITUCIÓN DEL PERSONAL

La Propiedad podrá exigir del Contratista la sustitución de cualquier persona que participe en los trabajos, por causa justificada, asignación de puesto inadecuado o bajo rendimiento.

VIGÉSIMO SEGUNDA – GARANTÍA DE CALIDAD Y CONTROL DE CALIDAD

El Contratista es responsable absoluto de la garantía de calidad del tanque y, del control de calidad del mismo y a los anteriores efectos establecerá los correspondientes Procedimientos, según se recoge en el Documento “Alcance de los Trabajos”, Anexo n°

La Propiedad tiene el derecho a examinar y controlar toda la documentación del Proyecto y la ejecución de las obras, pruebas, cálculos, diseños, estudios complementarios, modificaciones de diseño, etc., conforme determinan los documentos “Alcance de los Trabajos” y las “Especificaciones Técnicas del Contrato y “Anexo a las Especificaciones Técnicas”, Anexos números ... , obligándose a poner en conocimiento del Contratista su conformidad o reparos en los plazos que determinan los citados documentos. En la determinación del Programa de Inspección y Procedimientos se recogerán aquéllos en que la realización de las pruebas y ensayos no podrán efectuarse sin la presencia de la Propiedad, salvo que ésta renuncie expresamente a su asistencia. Los ensayos y pruebas que deban ser realizados fuera de las obras deberán ser comunicados a

la Propiedad con una antelación mínima de diez días. Los resultados obtenidos, con asistencia o no de la Propiedad, deberán ser entregados por el Contratista a ésta.

En todo caso la conformidad o no contestación por la Propiedad dentro de los plazos establecidos no supone traslado de responsabilidad a ésta, y continuará siendo única del Contratista, por lo que se refiere a la Garantía de Calidad y Control de Calidad del tanque y cumplimiento del plazo del programa contractual.

La Propiedad, con independencia de los ensayos y pruebas previstas, cuando le estime conveniente y a efectos de comprobar el cumplimiento de las especificaciones, podrá ordenar al Contratista o a un tercero, la ejecución de los ensayos y controles que considere convenientes para verificar los proyectos, equipos, materiales y, en general, la calidad de la obra. En la realización de estos ensayos y controles no podrá disminuirse la agilidad del proceso constructivo.

Si en el resultado de los ensayos y controles ordenados por la Propiedad, se determinara la defectuosa calidad, independientemente del rechazo, el Contratista será responsable de la sustitución a su costa, y además, abonará los gastos del ensayo o control. En ningún caso, la sustitución que resulte defectuosa producirá modificación en los plazos del programa contractual. El coste de los ensayos ordenados por la Propiedad y cuyos resultados sean correctos será satisfecho por ésta.

VIGÉSIMO TERCERA – OBLIGACIONES DE LA PROPIEDAD

Al tratarse de un Contrato “llave en mano”, las obligaciones de la Propiedad quedan muy reducidas, siendo las siguientes:

1. Abonar el importe del Tanque en la forma prevista en el contrato,
2. Facilitar al Contratista los terrenos de ubicación de la obra y los necesarios para las instalaciones provisionales, los cuales deberán ser vallados por el Contratista a su costa.
3. Obtención de las Licencias municipales y administrativas, así como el abono de las tasas o arbitrios, derechos de visados de los proyectos que deberán ser entregados por el Contratista con plazo suficiente.
4. Suministro de los equipos, bombas e instrumentos que recoge el documento “Alcance de los Trabajos” Anexo nº ..., los cuales serán montados por el Contratista, no aceptándose por la Propiedad ningún tipo de responsabilidad o

reclamación respecto a los mismos con posterioridad a la fecha de recepción por el Contratista.

5. Suministro de G.N.L. o nitrógeno para la puesta en frío del Tanque. Se exceptúa el purgado y secado.

VIGÉSIMO CUARTA – SEGURIDAD

El Contratista adoptará las medidas de seguridad aplicables y todas aquellas que puedan ser establecidas por la Propiedad durante la construcción del tanque, realizando todas las instalaciones y controles que en esta materia recoge el documento “Alcance y definición de los trabajos”.

Los eventuales accidentes, sustracciones de material o equipos en las obras no eximen al Contratista del cumplimiento de los plazos del programa contractual.

VIGÉSIMO QUINTA – SUBCONTRATACIONES

El Contratista no podrá subcontratar la totalidad o parte de los trabajos, ya sean éstos de proyecto o de obra, sin la aprobación por escrito de la Propiedad, quedando obligado a facilitar a ésta copia de los pedidos realizados a proveedores y subcontratistas, así como copia de los informes de inspección, activación y ensayos y certificados de calidad exigidos respecto a los citados pedidos. A los anteriores efectos se facilitará a las personas designadas por la Propiedad el libre acceso a los talleres y firmas donde se realicen los trabajos.

En el Documento Anexo N° ... se incluye la relación de subcontratistas y Proveedores Principales con determinación de las funciones que han de desarrollar cada uno. En cuanto al resto, el Contratista necesitará la aprobación de la Propiedad con arreglo a lo establecido en el Documento “Alcance de los Trabajos” Anexo n°

VIGÉSIMO SEXTA – INGENIERÍA DEL CONTRATISTA

Para el desarrollo del proyecto y de la supervisión en obra, el Contratista ha contratado los servicios de la empresa (YYY).

Con independencia de las Ingenierías contratadas podrá recabar informes generales o por cuestiones concretas a técnicos diferentes, poniéndolo en conocimiento de la Propiedad y facilitando los mismos.

VIGÉSIMO SÉPTIMA – INGENIERÍA DE LA PROPIEDAD

Como complemento para la supervisión de los proyectos y de la realización de la obra, la Propiedad cuenta con la asistencia de la empresa TÉCNICAS REUNIDAS, S.A.

Independientemente de esta asistencia, podrá solicitar los informes que estime oportunos a cualquier otra Empresa de Ingeniería o técnicos competentes y, asimismo, cuando considere conveniente realizar ensayos o comprobaciones, dirigirse a aquéllos que estimen más conveniente.

VIGÉSIMO OCTAVA – GARANTÍA

El Contratista garantiza a la Propiedad la capacidad, características y todas las garantías que recoge el documento de especificaciones técnicas.

Sin perjuicio de su derecho de repetición contra los suministradores, el Contratista garantiza el comportamiento del tanque en todos sus aspectos, tanto mecánicos, eléctricos, de funcionamiento, etc., durante dos años a contar de la fecha de recepción provisional. La garantía del mantenimiento del nivel de “perlita” en el espacio anular será de cuatro años a contar de idéntica fecha.

Durante el citado período de garantía el Contratista deberá corregir o subsanar prontamente con el mínimo daño para el funcionamiento de la instalación, cualquier anomalía que sea imputable a defectos de construcción o calidad deficiente de los materiales o elementos empleados, a las órdenes que en este sentido se le den por la Propiedad, y si se resistiese o demorase en el cumplimiento de las mismas, podrá ésta proceder por sí, a la realización de los trabajos necesarios para subsanar aquellas faltas o defectos, deduciéndose de los pagos pendientes y/o del aval los correspondientes gastos derivados.

Aquellas unidades que durante el plazo de garantía resultasen defectuosas y precisasen reparación por el Contratista, estarán sujetas nuevamente al período de garantía originalmente establecido.

VIGÉSIMO NOVENA – FIANZA DE FIEL CUMPLIMIENTO

En garantía de fiel cumplimiento del Contrato, el Contratista entrega a la Propiedad un aval bancario, copia del cual se une al presente Contrato, como Anexo n° 1, por un valor del quince por ciento (15%) del importe de la adjudicación del tanque.

Transcurridos dos años de la recepción provisional, la Propiedad devolverá al Contratista los avales bancarios que se encuentren en su poder.

Con independencia del aval de fiel cumplimiento, la Propiedad retendrá del importe de cada factura un cinco por ciento (5%) que sólo podrá ser abonado al Contratista una vez que hayan transcurrido doce meses a contar de la fecha de recepción provisional, si bien desde ésta podrá ser sustituido por un aval bancario redactado con arreglo al modelo de garantía de fiel cumplimiento.

TRIGÉSIMA – SEGUROS

El Contratista asume la responsabilidad que le corresponde según la Ley en relación con los daños que pueda ocasionar como efecto de sus acciones u omisiones. Igualmente, la Propiedad asume la responsabilidad que le corresponde según el ordenamiento jurídico vigente.

Al margen de la responsabilidad legal que pueda corresponder al Contratista, éste se compromete a concertar los siguientes seguros, previa aceptación por la Propiedad de la Proforma de los mismos, y todos ellos incluidos en el precio fijado:

- seguro de enfermedad y accidentes de todos los trabajadores de la obra, de acuerdo con la reglamentación vigente.
- seguro de accidentes de sus vehículos.
- Seguro, por todo el tiempo de duración del proyecto, hasta su recepción provisional, por los daños causados a los materiales acopiados y a la propia Obra, incluyendo los daños materiales que correspondan, por un importe total equivalente al valor del tanque terminado, incluyendo riesgos catastróficos, y, además, designando beneficiario de la póliza a la Propiedad.
- Seguro durante la construcción de responsabilidad civil y daños a terceros, incluido el personal de la Propiedad como tercero, hasta un límite de 10 millones de euros, extensivo a la responsabilidad que pueda ser asignada judicialmente a la Propiedad.

- Seguro de remoción de escombros o trabajos en las obras, después de un supuesto accidente, para poder continuar la obra, hasta un límite de 2 millones de euros.
- Seguro de errores y omisiones del proyecto, por un importe de 10 millones de euros y de la construcción por un importe de 20 millones de euros, y un plazo para ambos de dos años de duración, a contar de la recepción provisional, designando beneficiaria de la póliza a la Propiedad.

Copia de todas las pólizas de estos seguros deberán ser entregadas por el Contratista a la Propiedad, la cual no quedará obligada al abono de ninguna de las facturas que puedan ser presentadas por el Contratista mientras éste no cumpla la presentación de tales documentos.

TRIGÉSIMO PRIMERA – RESOLUCIÓN DEL CONTRATO

La Propiedad podrá optar por la resolución del contrato con pérdida de la fianza para el Contratista cuando la obra sufra, por causas imputables al mismo, retrasos superiores a 60 días sobre los plazos parciales o hitos del programa de ejecución de la obra indicados en el programa contractual, Anexo nº

Cuando la resolución del Contrato se produzca por deseo unilateral de la Propiedad, la indemnización consistirá en el pago por la Propiedad al Contratista del 3% de las obras que queden por realizar, valoradas con arreglo al desglose de precio total.

Cuando la Resolución del Contrato se produzca por no haberse obtenido la Concesión Administrativa o la Autorización de Instalaciones de la Planta o cualquier otra causa de imposibilidad de continuar las obras, la Propiedad abonará al Contratista las cantidades que este haya desembolsado hasta la fecha de la comunicación de esta incidencia.

En los supuestos de resolución del contrato, el Contratista se obliga frente a la Propiedad, a la entrega de la posesión de las obras a disposición de la Propiedad dentro de los 15 días siguientes a la notificación de resolución, con independencia de las posibles reclamaciones económicas que tuviese contra la misma posesión en dicho plazo, serán de cuenta del Contratista la indemnización de daños y perjuicios incluido el lucro cesante que por esta causa se ocasione.

TRIGÉSIMO SEGUNDA – OBLIGACIONES LABORALES

El Contratista se obliga a cumplir y hacer cumplir respecto a su personal y al de sus subcontratistas las obligaciones exigidas por la legislación laboral en materia de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Seguros Sociales, Mutualidad Laboral, Seguros de Accidente, Contratación de Personal, etc., y, así mismo, deberá asignar una persona responsable que se encargue de la vigilancia y cumplimiento de las normas y reglamentos de Seguridad e Higiene.

El Contratista será único y exclusivo responsable, durante la ejecución de los trabajos, de todos los accidentes que puedan sufrir sus operarios o causar éstos a otras personas o entidades y, naturalmente, el Contratista es responsable también de todas las responsabilidades anejas a la legislación vigente.

El cumplimiento de lo establecido en el artº 42 del Estatuto de los Trabajadores la Propiedad podrá exigir al Contratista la demostración de la afiliación a la Seguridad Social de todo el personal que intervenga en el Proyecto, así como de que encuentra al corriente en el pago de las cuotas de la Seguridad Social.

TRIGÉSIMO TERCERA – DOCUMENTOS DEL CONTRATO

El cumplimiento de este Contrato se regirá por las cláusulas del presente documento, completadas con los anexos al mismo que se corresponden con la documentación siguiente:

1º.- Aval de fiel cumplimiento y cualquier otro aval que se pueda emitir en el futuro en virtud de una cláusula contractual o mutuo acuerdo de las partes.

2º.- Pliego de Condiciones.

3º.- Alcance del Trabajo, hoja adjunta y anexos.

4º.- Especificaciones Técnicas del Contrato y anexos.

5º.- Cuadro económico.

6º.- Programa de ejecución de los trabajos.

7º.- Lista de precios por administración y precios unitarios.

8º.- Pólizas de seguros.

Todos los documentos anteriormente citados forman parte integrante del Contrato y un ejemplar de los mismos, firmado por la Propiedad y por el Contratista se unen como

anexos a este Contrato. En caso de oposición o discrepancia entre ellos prevalecerán por el orden en que se han citado.

TRIGÉSIMO CUARTA – DERECHO APLICABLE

El presente Contrato se regulará en todo con arreglo al Ordenamiento Jurídico Español y los preceptos legales de carácter imperativo necesariamente deberán ser cumplidos.

Las especificaciones técnicas al proyecto deberán ajustarse como mínimo a la Legislación Española, por lo que cualquiera que sea el alcance de la especificación, si las normas españolas fuesen más rigurosas estas deberán ser cumplidas siempre.

TRIGÉSIMO QUINTA – CONFIDENCIALIDAD

Ambas partes se comprometen a no divulgar la información técnica confidencial, know-how, planos y datos, incluida la información derivada de la inspección de plantas (en adelante denominada “Información Técnica”) facilitada a una de las partes por la otra, y que se refiere al diseño, construcción y/u operación de los Tanques y –salvo permiso escrito de la otra parte- no utilizará la Información Técnica confidencial con fines distintos a la evaluación, construcción, puesta en marcha y operación de los Tanques propiedad de ENAGAS.

Ambas partes se comprometen a limitar el acceso a la Información Técnica confidencial a aquellos empleados que lo precisen para evaluar la información y advertirán a dichos empleados de la naturaleza confidencial de la misma y de la existencia e importancia de esta cláusula de confidencialidad.

En el caso de que cualquiera de las partes utilice los servicios de un consultor externo con relación a cualquier parte del diseño, construcción, puesta en marcha u operación de los Tanques, y dicho consultor precisara utilizar la Información Técnica facilitada en este Contrato, la parte afectada queda obligada a suscribir con dicho consultor un acuerdo de confidencialidad substancialmente idéntico al de esta cláusula y será responsable de obtener la aceptación de sus términos por parte del citado consultor.

TRIGÉSIMO SEXTA – ARBITRAJE Y JURISDICCIÓN

Para cualquier circunstancia que pueda surgir de la interpretación del Contrato o de sus documentos anexos, las partes se ajustarán a lo establecido en los Reglamentos de Arbitraje de la Cámara de Comercio de Barcelona.

TRIGÉSIMO SÉPTIMA – ANULACIÓN DE DOCUMENTOS ANTERIORES

Quedan nulos y sin valor contractual alguno todas las comunicaciones y documentación entregada con anterioridad a la firma del presente Contrato, que no hayan sido expresamente señalados en el mismo como documentos contractuales, siendo las obligaciones de las partes las que se expresan en este Contrato, en sus anexos y en las eventuales adiciones al mismo.

TRIGÉSIMO OCTAVA – NOTIFICACIONES

Cualquier notificación que deba dirigirse a las partes en relación con el desarrollo del presente Contrato, deberá efectuarse por escrito a las siguientes direcciones:

- Las notificaciones del Contratista a la Propiedad, deberán dirigirse a:

ENAGAS

Atención: Tanque de GNL - Barcelona

Avda.deAmérica nº 38

28028 MADRID

- Las notificaciones de la Propiedad al Contratista, deberán dirigirse a:

XXXX EMPRESA CONSTRUCTORA, S.A.

A la atención de:

C/

28 MADRID

TRIGÉSIMO NOVENA – MODIFICACIONES AL CONTRATO

Cualquier modificación, corrección o adición a las disposiciones de este Contrato, sólo será válida cuando vaya firmada por las partes contratantes y se exprese claramente el carácter de modificación, corrección o adición.

CUADRAGÉSIMA – ENTRADA EN VIGOR

El presente Contrato producirá plenos efectos jurídicos entre las partes a contar de la fecha _____, en que se procedió a la notificación de la carta de adjudicación.

CUADRAGÉSIMO PRIMERA – AUTORIZACIÓN DE FIRMAS

Con el fin de facilitar la firma del Contrato los representantes de ambas empresas autorizan a que el conjunto de los documentos anexos sean firmados por Técnicos de ambas empresas.

Y en prueba de conformidad se extiende el presente Contrato por duplicado y a un solo efecto que firman ambas partes contratantes en el lugar y fecha indicados al principio.

Por el Contratista

Por ENAGAS

3 ALCANCE DE LOS TRABAJOS

En relación con el Tanque de almacenamiento de GNL objeto del Contrato EPC, el Alcance de los Trabajos a realizar por el Contratista incluye, sin carácter limitativo, la Ingeniería de detalle, la Adquisición de equipos y materiales, la Construcción y la Puesta en servicio de las siguientes instalaciones y elementos del Tanque:

- Cimentaciones (losa y zapata) de hormigón armado
- Depósito exterior, de hormigón pretensado en pared y techo, y de otros materiales en suelo
- Barrera de vapor (pared, techo y suelo) en acero al carbono
- Cubeto de sellado en el fondo y esquina entre los 2 tanques, de acero al 9 % Ni
- Techo suspendido de Al para el depósito interior
- Sistemas de aislamiento entre paredes, fondos y techos de los dos depósitos
- Depósito interior de acero al 9 % Ni (pared y suelo)
- Fondo del depósito interior
- Pozos para las bombas en el interior del tanque
- Bombas criogénicas, con sus alojamientos, válvulas, cables y demás accesorios; incluidos motores y cables, con sus bandejas, hasta el panel de control
- Pozos fijos para instrumentos de nivel
- Anillo de rociado para puesta en frío, escaleras de acceso y demás accesorios en el tanque interior
- Tuberías, con sus accesorios, válvulas y elementos de soportación, tanto en el interior del tanque como en el exterior, hasta el límite de batería
- Toberas y entradas visitables (bocas de hombre)
- Válvulas de sobrepresión y rompedoras de vacío
- Válvulas de control, con sus correspondientes by-pases
- Todos los instrumentos (de presión, temperatura y nivel) con sus transmisores, cables, bandejas y demás accesorios
- Plataformas en el techo del tanque, con sus estructuras de soporte, accesos y pasarelas
- Bandejas de recogida de derrames de GNL y conductos de evacuación

- Una grúa desplazable, con sus cables de izado, para mantenimiento de bombas
- Escaleras de acceso y escape, entre suelo y techo del tanque
- Hilos de caldeo para la cimentación, con sus protecciones y cables hasta el panel de control
- Sistema de distribución de agua anti-incendio para el rociado de pared y techo
- Sistema de purgado con nitrógeno del espacio anular y aislamiento del fondo
- Aislamiento criogénico de tuberías
- Ignifugado de estructuras y soportes
- Sistema de iluminación y cableado correspondiente
- Sistemas de distribución eléctrica, puestas a tierra y pararrayos.

4 PLAN DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO

4.1 Introducción

La empresa ENAGAS ha decidido acometer la ampliación de la capacidad de almacenamiento de su Terminal de recepción de GNL situada en Barcelona, tal como estaba planificado con anterioridad, ampliación que consiste en la construcción de un nuevo tanque de GNL adicional a los existentes. Para ello encargó la preparación del Proyecto Básico del tanque, del cual forma parte este documento.

El Proyecto Básico tiene por objetivos los siguientes:

1. definir las instalaciones a construir,
2. especificar los condicionantes técnicos,
3. estimar los costes de inversión,
4. determinar el programa del proyecto,
5. describir los trabajos de ejecución, y
6. preparar la documentación necesaria para poder lanzar el concurso de construcción "llave en mano" del tanque.

El propósito del presente documento, el llamado Plan de Ejecución del Proyecto, es precisamente el de realizar una descripción detallada de las actividades a acometer durante la fase de ejecución del mismo –fase posterior a la emisión de este Proyecto Básico-, incluyendo las siguientes tareas principales:

- Realización de la Ingeniería Detallada
- Adquisición de Equipos y Materiales
- Construcción de Instalaciones
- Puesta en Marcha del Tanque.

En los capítulos que siguen trataremos en detalle de todas esas actividades. Sin embargo conviene señalar desde ahora que este Plan de Ejecución del Proyecto es el correspondiente a una planificación previa de los trabajos. Una vez que el Contrato de EPC haya sido adjudicado, el Contratista adjudicatario de los trabajos tendrá que desarrollar su propio Plan de Ejecución del Proyecto.

Este nuevo PEP deberá describir en detalle como se van a acometer los trabajos en cada caso; en ese sentido el Plan del Contratista será complementario al presentado aquí y

contendrá los siguientes elementos adicionales, los cuales serán específicos para este proyecto:

- Plan de movilización del personal y maquinaria,
- Histogramas de horas,
- Organigramas detallados,
- Plan de Calidad del proyecto,
- Programa de Ejecución detallado,
- Distribución de pagos contractuales en el tiempo,
- Planes de inspección y ensayos (en fábrica y en obra),
- Plan de Salud y Seguridad laboral.

El PEP del Contratista se completará con el Manual de Procedimientos, el cual incluirá al menos los siguientes apartados:

- Instrucciones de ingeniería y programas de cálculo,
 - Procedimientos de Gestión de Compras
 - Política y Manual de Calidad
- Procedimientos de construcción,
 - Política y Manual de Salud, Seguridad y Medio ambiente.

4.2 Ingeniería de Detalle

4.2.1 Generalidades

A partir de la información contenida en el Diseño Básico y considerando los cambios y modificaciones que se produzcan en el mismo durante la realización del proyecto, se llevará a cabo la Ingeniería de Detalle realizando los cálculos, dibujando los planos, preparando las especificaciones, y produciendo todos los documentos necesarios para proceder de forma definitiva a efectuar las siguientes tareas:

- Presentación del Proyecto ante la Administración y Organismos Oficiales
- Adquisición de Materiales y Equipos
- Construcción y Montaje de las Instalaciones
- Comisionado y Puesta en frío del Tanque
- Preparación del Dossier final.

Dentro del alcance del adjudicatario de la Ingeniería de Detalle está comprendida la redacción, firma por técnico competente, visado por colegio oficial correspondiente y trámites de presentación de todos aquéllos documentos oficiales (proyectos, separatas, direcciones de obra, certificados, etc.) que le requieran. Para la elaboración de los proyectos oficiales se procurará aprovechar al máximo la documentación (cálculos, planos, especificaciones, dibujos tipo, etc.) procedentes del proyecto básico.

Las actividades de Ingeniería de Detalle a realizar por el Contratista se describen en los siguientes capítulos, por especialidades.

4.2.2 Proceso

- Preparar los Diagramas de Tuberías e Instrumentación, dimensionando las líneas y equipos que los requieran. (Estos diagramas los origina el Ingeniero de Proyecto y los revisan y completan los Ingenieros de Proceso, Instrumentacion y Control y demás especialistas)
- Especificar los datos de proceso para tuberías e instrumentos
- Modificar los Diagramas de Tuberías e Instrumentos para reflejar los cambios en el proceso que pudieran suponer los equipos que se hayan comprado (si son distintos a los especificados)
- Dimensionar o comprobar los tamaños de líneas de fluidos, verificando además los perfiles de presión en las mismas
- Calcular el NPSH de las bombas
- Participar en los HAZOP del proyecto
- Revisar los documentos pertinentes de la Ingeniería y de los vendedores para comprobar que los requisitos de proceso indicados en el Diseño Básico se incorporan al diseño de detalle

4.2.3 Ingeniería de Proyecto

- Redactar las Especificaciones Técnicas del Proyecto tomando como base los requisitos indicados en el Diseño Básico, teniendo en cuenta las prácticas de construcción, las disponibilidades locales y los requisitos legales vigentes
- Preparar las estimaciones de costes necesarias, con ayuda del Departamento de Control de inversiones

- Colaborar con la sección de Programación para preparar el programa de ejecución del Proyecto
- Coordinar las actividades de los distintos Especialistas, Ingenieros de proyecto y Procesistas
- Controlar que el Proyecto se realice de acuerdo con el Diseño Básico y las especificaciones del Cliente
- Preparar, junto con los Especialistas responsables dentro de la Ingeniería, las Requisiciones de Equipos y Materiales
- Revisar las Tabulaciones de Ofertas y realizar las recomendaciones de compra correspondientes
- Monitorizar el progreso de los trabajos y los costes incurridos, y preparar los informes periódicos de Progreso
- Preparar las instrucciones de Trabajo necesarias según procedimiento de coordinación.

1.2 Obra Civil

- Preparar las especificaciones técnicas correspondientes a la Cimentación del Tanque y Obra Civil diversa
- Realizar los cálculos y preparar el diseño de detalle y los planos constructivos de la Cimentación del Tanque de GNL. En los planos se indicarán las dimensiones principales, cotas, número, disposición y diámetro de armaduras, secciones típicas, etc., de forma que el subcontratista de construcción y montaje pueda desarrollar sus dibujos constructivos y planos de taller
- Preparar los planos y documentos estandarizados para:
 - Notas y detalles generales de Hormigón Armado
 - Pernos de anclaje
 - Zanjas de hormigón alrededor del Tanque
 - Cimentación de escaleras y plataforma
 - Arquetas para drenaje y Pozos de registro
- Preparar plano de pavimentos con situación de cimentaciones, drenajes, zanjas, calles y accesos
- Preparar la documentación necesaria para la petición de oferta y documento técnico para el Subcontrato de Obra Civil.

1.3 Mecánica - Estructuras y Tanques

- Revisar los cálculos estructurales del Tanque, tanto del tanque exterior de hormigón como del tanque metálico interno
- Revisar los cálculos sísmicos y demás cargas y esfuerzos. Completar los cálculos tensionales
- Preparar las especificaciones de tanques y estructuras metálicas
- Realizar el diseño detallado del tanque externo, del tanque interno, accesorios y estructuras de soporte de tuberías según normas y diseños standard, con todos los detalles necesarios, incluyendo:
 - Pared de Hormigón pretensado
 - Pared metálica de acero al 9 % Ni
 - Techo de hormigón
 - Techo suspendido
 - Forros para barrera de vapor
 - Estructuras de soporte
 - Plataforma, Escaleras y Barandillas
- Realizar los planos constructivos del tanque en su totalidad. En éstos, se indicarán las elevaciones de planta y plataforma, las dimensiones principales de tanques y estructuras y el número, disposición y diámetro de las armaduras o el tipo y tamaño del perfil a usar, dimensionando todos los elementos principales de aquéllas, de forma que el subcontratista (en su caso) de construcción y montaje pueda desarrollar sus planos de taller y dibujos de detalles constructivos
- Preparar la información necesaria para petición de oferta y documento técnico para la subcontratación de la Construcción y Montaje de los elementos del Tanque, si fuera necesario.

4.2.4 Mecánica - Máquinasrotativas

- Preparar las especificaciones técnicas, hojas de datos y condiciones especiales para la petición de ofertas y compra de las bombas criogénicas
- Revisar técnicamente las ofertas recibidas, proceder a las aclaraciones oportunas con los ofertantes y efectuar la recomendación de compra

- Efectuar el seguimiento del pedido de las bombas, especialmente en lo referido a los ensayos y controles de calidad.

1.4 Ingeniería de Seguridad y del Medio Ambiente

- Preparar el Análisis cuantitativo de riesgos definitivo, modificando el realizado anteriormente mediante la incorporación de los datos finales del proyecto
- Realizar la evaluación final del impacto ambiental previsible derivado de la implantación y puesta en servicio del Tanque, mediante un Estudio de Impacto Ambiental completo (si fuera necesario).

4.2.5 Implantación y Tuberías

- Preparar plano de implantación de las instalaciones y equipos -planta y alzado- con coordenadas y cotas
- Revisar los cálculos de caudal de líneas de llenado, salida y vapor de GNL
- Revisar los cálculos térmicos y de dimensionamiento de los sistemas de seguridad por sobrepresión y vacío
- Revisar el diseño de rociado del sistema contra incendios (DCI)
- Colaborar en la preparación de los diagramas de Tuberías e Instrumentos
- Revisar los planos de vendedores de equipo
- Realizar el estudio de tensiones dinámicas y vibraciones
- Dimensionar los soportes de tuberías marcando su situación en los planos
- Preparar todos los planos de planta, alzado y detalles de las tuberías incluidas en el Alcance de trabajos del Tanque
- Delinear las isométricas finales de todas las líneas, incluyendo aspiraciones de bombas, líneas de llenado, sistemas de sobrepresión y vacío, etc., de forma que resulten aptas para la prefabricación de los tramos de tuberías en obra
- Coordinar las conexiones entre el depósito de GNL y el resto de la planta
- Preparar la lista de líneas indicando:
 - Número de línea y especificación
 - Temperatura y presión de diseño y operación
 - Aislamiento/Pintura
 - Presión de Prueba Hidrostática o Neumática.

- Preparar especificaciones de tuberías para diseño, materiales, fabricación (taller y obra), etc., basadas en los códigos y standards aplicables
- Preparar lista de materiales de tubería, agrupando cantidades para cada tamaño y distinguiendo categorías de tubo, válvulas, accesorios, bridas, etc.
- Preparar fichas técnicas para peticiones de oferta y compra de materiales de tuberías y evaluar técnicamente las ofertas recibidas.

Todo ello para los siguientes tipos de fluidos:

- Gas natural licuado (GNL) a $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Vapores de GNL (GNV) a unos $-140\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Agua contra incendios
- Aire de instrumentación
- Nitrógeno gas.

4.2.6 Electricidad

- Realizar los cálculos y dimensionamientos siguientes:
 - Balance de cargas eléctricas
 - Caída de tensión en arranque de motores
 - Tensiones de cortocircuito
 - Cableado eléctrico (fuerza y baja tensión)
 - Esquemas lógicos de arranques y paradas
- Preparar los planos y diagramas eléctricos siguientes:
 - Áreas de peligrosidad
 - Diagrama unifilar
 - Esquemas de control y protección de motores
 - Recorrido de cables y bandejas de soporte, tanto para distribución eléctrica como para cables de instrumentación y control
 - Puestas a tierra y protecciones
 - Alumbrado (localización, cableado y detalles)
 - Regletas de bornes y conexiones eléctricas y de instrumentación
- Realizar el diseño de la instrumentación eléctrica y los diagramas de control
- Preparar las listas de equipos y cables, eléctricos y de instrumentación
- Preparar las especificaciones técnicas de la especialidad eléctrica

- Preparar las requisiciones y documentación necesaria para las peticiones de ofertas de equipo y material eléctrico; revisar las ofertas recibidas
- Revisar planos y documentación de vendedores
- Realizar la coordinación de conexiones eléctricas entre el sistema eléctrico en el tanque y el resto de la planta.

4.2.7 Instrumentación y Control

- Revisar los Planos de Tuberías e Instrumentos
- Dibujar los esquemas y diagramas de control
- Preparar los cuadros de Causas y Efectos
- Preparar la lista completa de instrumentos reflejando el estado final del diseño
- Preparar esquemas de montaje para los instrumentos, incluyendo los esquemas requeridos (hook-ups) de conexión de proceso y neumáticos, con indicación de los materiales a emplear
- Preparar detalles típicos de soportes, protección contra heladas y otros
- Realizar los dibujos de localización de instrumentos, incluyendo localización de politubos, cajas de conexión, caminos principales (routing) de colectores de aire y tubos de señal, así como la localización y elevación aproximada de los instrumentos
- Diseñar el panel de control, incluyendo el frente del panel acotado con la posición de los instrumentos debidamente identificados; también incluye diseño de detalle de conexiones (hook-ups) neumáticas y eléctricas. El fabricante del panel preparará los planos constructivos necesarios, que serán revisados y aprobados por el Contratista
- Desarrollar las especificaciones técnicas a partir de la información contenida en el Diseño Básico
- Preparar las requisiciones para petición de oferta de instrumentos y equipos de control
- Revisar técnicamente las ofertas y efectuar recomendaciones de compra
- Preparar documentación para petición de oferta del subcontrato de instalación de instrumentos y equipos de control
- Revisar y comprobar los planos de Vendedores.

4.3 Gestión de Compras y Subcontrataciones

4.3.1 Generalidades

Para preparar, coordinar, dirigir y controlar todos los pedidos correspondientes a los materiales y equipos del Tanque así como los subcontratos de servicios que se vayan a adjudicar, el Contratista incluirá en su equipo de Gestión del proyecto un grupo de “Gestión de Compras y Contratación” con las siguientes secciones:

- Contratación y Planificación de Órdenes de Compra y Subcontratos
- Activación y Relaciones con los Suministradores / Subcontratistas
- Control de Calidad
- Transportes y Logística de Pedidos
- Trazabilidad y listados de equipos y materiales.

Los métodos de trabajo utilizados por el Contratista en la Gestión de Compras y Contratación se ajustarán a los contenidos en su Manual de Procedimientos y a las condiciones fijadas en el contrato Llave en mano. El Contratista decidirá todas las adjudicaciones sin que ENAGAS pueda revisarlas o modificarlas, pero siempre teniendo presente los requisitos de calidad que se incluyen en las Especificaciones Técnicas (las cuales forman parte del Contrato de EPC). El control de la fabricación e instalación de los distintos equipos y materiales se efectuará a dos niveles:

- el departamento de Ingeniería del Contratista revisará y aprobará los planos y características para la fabricación, y también autorizará o denegará los cambios en las condiciones técnicas que pudiera solicitar el fabricante o subcontratista correspondiente
- el equipo de Control de Calidad efectuará las visitas a fábrica que sean necesarias para verificar los resultados de ensayos y pruebas, o comprobar las dimensiones y características de los distintos equipos y materiales. En obra existirá un equipo permanente de Control de Calidad.

En los apartados que siguen se describen en detalle las actividades a realizar en cuanto a la Adquisición de equipos y materiales y a la Contratación de servicios.

4.3.2 Gestión de Compras

- Emitir propuesta de materiales a adquirir y servicios a subcontratar, teniendo en cuenta las características concretas de este proyecto, la responsabilidad técnica y la influencia de la división propuesta en los plazos de ejecución programados
- Establecer las listas de posibles suministradores y subcontratistas cualificados, tanto nacionales como extranjeros, para cada clase de material y servicio
- Confeccionar la lista de las requisiciones que se vayan a emitir con indicación de equipos y materiales
- Preparar el Alcance y las Especificaciones de cada pedido de material y de cada servicio a subcontratar, adjuntando la documentación técnica preparada por los ingenieros especialistas respectivos
- Preparar la documentación necesaria para completar una petición de ofertas (condiciones generales y particulares, plazos de ejecución, programas de control de calidad, pruebas, formatos de propuesta comercial, etc.)
- Emitir las peticiones de oferta de equipos y materiales y efectuar los contactos necesarios con los ofertantes
- Realizar la comparación de ofertas. El Departamento de Compras y Contrataciones se encarga de la verificación de los plazos de entrega y de la comparación de las condiciones comerciales. El Departamento Técnico correspondiente revisa y estudia técnicamente las ofertas y chequea los materiales y/o servicios que cubren. Ambos departamentos, conjuntamente, realizan la recomendación final del vendedor o subcontratista seleccionado
- Emitir y administrar el Pedido o Subcontrato (es decir: alcances adicionales, cancelaciones, negociación y regularización de extras diversos, aplicación de revisión de precios, permisos de importación y exportación, etc.)
- Elaborar mensualmente una lista de los pedidos y subcontratos que se emitan, indicando número, revisión, material comprado o servicio adjudicado, proveedor, coste, situación del pedido o trabajo, etc.

4.3.3 Servicios de Inspección, Activación y Logística de Pedidos

- Comprobar los procedimientos de fabricación, las instalaciones del taller y la mano de obra; supervisar las etapas críticas de fabricación

- Realizar el seguimiento y activación de los pedidos, con el fin de asegurar los plazos de entrega y el envío de los materiales a obra, emitiendo los informes correspondientes sobre la evolución de la fabricación
- Seleccionar y contratar los transportes de los equipos de origen extranjero, C.I.F. Barcelona. Coordinación de los transportes nacionales hasta los almacenes de obras de ENAGAS. (Los materiales y equipos de origen nacional serán adquiridos, con los transportes incluidos, en los almacenes citados)
- Emitir los informes de recepción de materiales en fábrica
- Programar y efectuar el control presupuestario de los pedidos de materiales y equipos, con edición mensual de informes
- Identificar y ordenar de la documentación final de los suministradores, para su posterior incorporación a los libros finales de obra
- Efectuar las tareas de inspección durante la fabricación de los diversos equipos (que serán llevados a cabo por personal especializado) incluyendo:
 - Elaboración del programa específico de garantía de calidad para cada pedido
 - Visitas periódicas a los talleres de los suministradores, inspeccionando las distintas fases de fabricación, comprobación de pruebas de fábrica, obtención y aprobación de los equipos con los planos certificados, etc.
 - Calificación de soldadores y mano de obra, cuando sea necesario
 - Presencia en las pruebas previas a la aceptación
 - Envío de los informes periódicos de inspección, con los resultados de las inspecciones realizadas, evaluación del programa de fabricación, etc.
- Comprobar la existencia de un programa realista, en cuanto a ingeniería, acopio de materiales, fabricación, pruebas y envío, que cumpla con la fecha contractual
- Controlar el progreso de los pedidos de modo que sea posible tomar la acción conveniente, cuando se prevea o detecte un retraso sustancial.

4.3.4 Administración de Subcontratos de construcción y montaje

- Aplicar y hacer cumplir los contratos celebrados con los Subcontratistas

- Elaborar un Plan General de las obras y la correspondiente programación general. Realizar su seguimiento, control de la aplicación y revisión periódica de los programas parciales y general de la obra
- Elaborar un Plan de Control de Calidad. Realizar su seguimiento, control y posible revisión
- Elaborar un Plan de Control de Costes, realizando también su seguimiento, control y posible revisión
- Elaborar un Plan de Gestión de Materiales en obra.
- Elaborar un Plan de Generación de documentos, circuitos de transmisión y archivo. Comprobar los planos, especificaciones y demás documentos del proyecto, detectando posibles deficiencias o lagunas
- Comprobar que los Subcontratistas realizan las obras de acuerdo con el proyecto, Normas y Reglamentos oficiales, y con calidad acorde a las reglas de buena práctica
- Elaborar informes mensuales, más uno final para cada parte de obra terminada
- Comprobar, comentar y aprobar las certificaciones de los Subcontratistas
- Intervenir en primera instancia en la negociación y establecimiento de los precios contradictorios
- Aceptar las recepciones provisionales y definitivas de las Obras e instalaciones, previos los ensayos de validez oficial
- Elaborar acta de cuantas reuniones se celebren, realizar su seguimiento y hacer cumplir sus conclusiones.

Entre los subcontratos a realizar para este Proyecto, y por su importancia, debemos destacar los siguientes:

- Obra Civil y Cimentación
- Prefabricación y Montaje de Estructura Metálica
- Prefabricación, Montaje y Pruebas de Sistemas de Tuberías (incluidos aislamientos) y pruebas de presión después de su instalación
- Montaje del aparellaje eléctrico y distribución en Media y Baja Tensión incluyendo Alumbrado y sistema de Puesta a Tierra. Pruebas estáticas de toda la instalación

- Montaje de Cuadros de Control, Instalación y pruebas de instrumentos y lazos de control neumáticos y electrónicos
- Preparación de superficies, recubrimientos y pintura a aplicar en Obra.

Los documentos a incorporar en los distintos subcontratos serán los siguientes:

- Pliego de Condiciones Particulares
- Alcance de los trabajos
- Unidades de Obra, Mediciones y Precios Unitarios Aplicables
- Pliego de Condiciones Generales
- Proyecto de Seguridad e Higiene durante la ejecución de los trabajos
- Especificaciones Técnicas aplicables
- Planos y Detalles Típicos de ejecución de las diversas especialidades.

4.4 Construcción de las Instalaciones

4.4.1 Generalidades

El objeto de esta actividad será la realización de las siguientes obras y trabajos:

- 1 Cimentación del Tanque, y resto de Obra Civil
- 2 Pared externa de hormigón pretensado
- 3 Bóveda de acero al C
- 4 Cúpula de hormigón
- 5 Tanque interior de acero al 9 % Ni
- 6 Techo suspendido
- 7 Montaje Mecánico (estructuras metálicas, tuberías y bombas criogénicas)
- 8 Aislamiento y pintura
- 9 Montaje Eléctrico
- 10 Montaje de Instrumentación
- 11 Pruebas, limpieza, secado e inertizado.

La secuencia típica y algunos detalles de ejecución de la construcción de un Tanque de GNL se aprecian en la *Figura 21*.

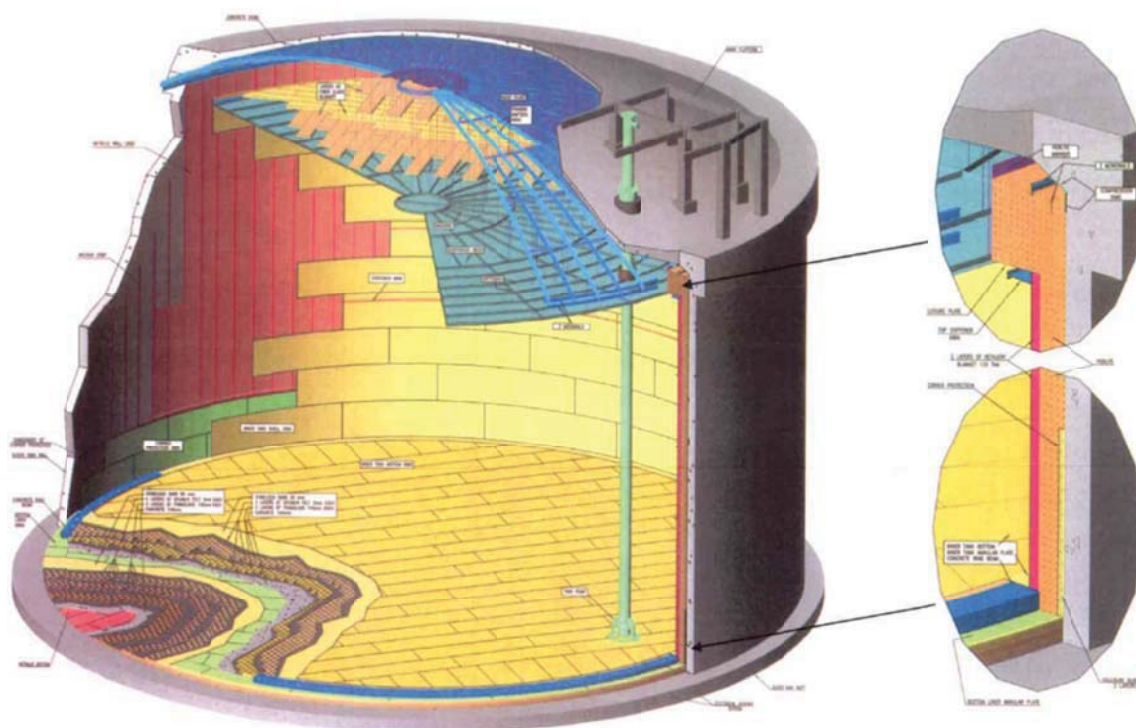


Figura 21 Secuencia típica de ejecución de la construcción

4.4.2 Secuencia general y detalles de construcción

En los apartados que siguen describiremos las actividades que debe realizar el Contratista en cuanto a garantizar la calidad de los trabajos, prevenir los accidentes, planificar y controlar las actividades y completar las obras.

4.4.2.1 Aseguramiento de Calidad

El objetivo de Calidad del proyecto es lógicamente que el Tanque terminado pueda contener 150 000 m³ de GNL en las condiciones especificadas en los documentos del Proyecto; y que, además, lo haga durante los próximos 30 o 40 años sin incidencias causadas por defectos en la construcción. Para ello es esencial que la construcción del Tanque se ejecute con el debido respeto a las normas y procedimientos aprobados. El establecimiento de un programa de aseguramiento de la calidad durante la construcción será la mejor garantía para conseguirlo.

En primer lugar se preparará el Plan de Calidad del proyecto, el cual contendrá los requerimientos, recursos y condiciones técnicas necesarias para el establecimiento, ejecución y consecuencias de los controles de calidad en todas las fases de la construcción.

El Plan incluirá también el Listado de todos los Procedimientos a seguir durante los trabajos, así como un Programa de Auditorías de Calidad que abarque al propio Contratista y sus Suministradores y Subcontratistas. El Plan deberá ser aprobado por ENAGAS.

El Contratista se encargará de movilizar la Organización que se necesite para llevar a cabo el Plan de Calidad en todos sus términos, incluyendo Inspectores a tiempo completo y sus correspondientes ayudantes. A su vez cada Suministrador o Subcontratista tendrá que producir un Plan de Calidad propio adaptado al Alcance del pedido u obra que se le hubiera adjudicado. En estos Planes parciales se especificará el programa detallado de verificación de procedimientos, homologaciones de personal, inspecciones visuales, controles dimensionales, calibraciones, pruebas, ensayos, revisión de certificaciones, aprobación de informes y aceptación final del producto o la obra. El Contratista revisará y modificará o aprobará todos los Planes de Calidad; para las empresas menos preparadas en estos temas se impartirán Cursos de Formación en Calidad.

A fin de conseguir una mayor seguridad en los temas de calidad, el Contratista contará con la asistencia técnica puntual de especialistas en aquellas actividades más críticas, tales como diseño criogénico (válvulas, soportes, análisis de esfuerzos y tensiones), equipos mecánicos (bombas de GNL), metalurgias especiales y, en general, en todos aquellos campos en los que la calidad pueda verse comprometida.

4.4.2.2 Higiene y Seguridad Laboral

El Contratista cumplirá todos los requisitos legales en materia de Salud y Seguridad laboral que estén vigentes en el momento de acometer las obras. Se dispondrá de un Plan de Seguridad e Higiene, específico para la construcción del Tanque objeto de este Proyecto. Además de todo ello, ENAGAS requiere que el tema de la Seguridad laboral se trate por el Contratista como si fuera un “proyecto” en sí mismo, con un Alcance de trabajos, una Organización, unas Condiciones Técnicas y un Presupuesto. El Alcance incluirá tres áreas y numerosas tareas, las principales de las cuales se citan a continuación:

1. Prevención:

- Curso de Orientación para nuevos empleado (duración mínima: 4 horas)
- Análisis de riesgos y precauciones a tomar para cada tarea a realizar
- Reunión semanal de cada equipo de obra para preparar el trabajo
- Distribución de Boletín semanal de educación en prevención de riesgos

- Cursos de Formación en Seguridad para supervisores y capataces
- Campañas de concienciación (carteles, concursos, premios, asambleas, ...)

2. Vigilancia:

- Inspección constante de los tajos de obra
- Auditorías de seguridad a los subcontratistas (2 por semana, mínimo)
- Chequeos de alcoholemia y drogadicción (1% del personal cada semana)
- Señalizaciones y Control
- Reunión semanal de revisión de actuaciones (todos los subcontratistas)

3. Corrección e Intervención:

- Cartas de No cumplimiento, post-inspección
- Penalidades por incumplimientos (hasta suspensión de contratos)
- Tratamiento de heridas en Enfermería
- Emisión y publicación de Informes de todos los accidentes
- Recogida y análisis de datos estadísticos.

Los Recursos disponibles para desarrollar el programa de Seguridad serán los siguientes:

-Personal: habrá un Vigilante de seguridad por cada 40 empleados (Subcontratistas), además de los Supervisores y Capataces como responsables de seguridad en sus áreas

-Equipos e Instalaciones: se dispondrá de una Enfermería con estación de primeros auxilios, una Sala de conferencias (capacidad 40 personas) y un Despacho equipado

-Financieros: en los temas de Seguridad se invertirá no menos de un 1 % del presupuesto total de la obra (en Materiales, Personal e Incentivos).

En cuanto a las Condiciones Técnicas, el Contratista adoptará los Reglamentos de Seguridad laboral vigentes en España en el momento de la obra. La ejecución de las labores de prevención, vigilancia, formación e intervención se realizará de acuerdo con el Manual de Procedimientos de Seguridad e Higiene del propio Contratista y el Plan específico de Seguridad de la obra.

4.4.2.3 Control del Proyecto

Un Departamento del equipo del Contratista en Obra se encargará de los temas relativos al control del proyecto. Estará compuesto por 5 secciones:

- Planificación y Programa de Ejecución

- Estimación y Control de Costes
- Medición y curvas de Progreso
- Coordinación e Informes de Avance
- Administración del Contrato.

Para el Control del Programa de Ejecución se utilizará el programa de ordenador PRIMAVERA o similar, el cual permite la creación de Programas de ejecución muy detallados (hasta Nivel IV), con listados de miles de actividades si fuese necesario, seguimiento de antecesores y sucesores, interconexiones múltiples, actualizaciones automáticas en cascada, determinación del camino crítico en cada momento, cálculo de holguras, preparación de resúmenes, enumeración de recursos, etc. Las salidas pueden ser de forma gráfica, tabular o texto. El Programa contractual de ejecución de los trabajos, definido al comienzo del proyecto, estará definido a Nivel III; los programas detallados de suministradores y subcontratistas se incorporarán posteriormente en el Nivel IV.

En cuanto a la Estimación y Control de Costes el Contratista utilizará su propia base de datos y una hoja de cálculo específica para este proyecto. Las variaciones del Alcance que se vayan produciendo a lo largo del trabajo se estimarán en base al banco de datos y los precios que figuran en el Contrato Llave en mano. En la hoja de cálculo se irán incluyendo las Variaciones con sus datos más relevantes: causa, contenido, impacto en coste (propuesto y acordado), impacto en tiempo, situación actual y fechas de emisión y aprobación.

El Progreso de los trabajos se medirá de acuerdo con criterios establecidos inmediatamente tras la firma del contrato de EPC: cada actividad tendrá unos Hitos marcados a lo largo de su ejecución, a cada uno de los cuales le corresponderá un porcentaje de avance. Además de los Hitos pre-fijados, se tendrá en cuenta el número de horas trabajadas en cada actividad.

El Contratista mantendrá informado a ENAGAS de todos estos controles, de acuerdo con los criterios establecidos en el Contrato entre los que cabe destacar los siguientes:

- Reuniones semanales y mensuales de revisión
- Informes diarios de actividades
- Informes semanales de Construcción
- Informe mensual de Avance del Proyecto
- Registro actualizado de Variaciones de costes

-Revisiones semanales del Programa de Ejecución-nivel III.

4.4.2.4 Proyecto de liquidación de obra

Al ir finalizando los trabajos se acometerá un proyecto de liquidación de obra que constará, sin carácter limitativo, de la documentación que se indica a continuación:

- a) Ejecución de Planos “as-built”. La práctica normal es facilitar reproducible de los siguientes planos “as-built”:
 - Diagramas de flujo de proceso
 - Diagramas de tuberías e instrumentos
 - Disposición de panel de control
 - Diagrama unifilar
 - Planos de implantación
 - Instalaciones
- b) Entrega de colecciones de planos, especificaciones y documentos actualizados, según construcción (aquellos no incluidos en los “data book”)
- c) Actas de recepción provisional y/o definitivas de obras y servicios
- d) Asistencia, durante el periodo de garantía de los suministradores y subcontratistas.
Listado de piezas de recambio
- e) Libros mecánicos de los equipos (“data-book”), los cuales recopilarán la siguiente documentación:
 - Lista de planos del Contratista
 - Lista de planos de Vendedores
 - Lista de pedidos
 - Datos de equipos:
 - Datos básicos de diseño
 - Especificaciones de ingeniería
 - Dibujos de dimensiones generales
 - Instrucciones de instalación, operación y mantenimiento
 - Curvas características de bombas
 - Especificaciones generales de ingeniería
 - Lista de instrumentos
 - Disposición general del panel de control

- f) Cálculos justificativos de las modificaciones que se pudieran haber introducido al Proyecto como consecuencia de la ejecución de las obras
- g) Actas de aceptación y pruebas de la Delegación de Industria u Organismo Oficial correspondiente
- h) Manuales de Operación y Mantenimiento, para el conjunto de instalaciones, con objeto de poder informar al personal técnico y de supervisión de todos los aspectos relativos a la operación del Tanque. Se darán las bases para la preparación de procedimientos detallados, paso por paso, que pudieran ser necesarios para el entrenamiento del personal y las operaciones del tanque. El contenido general típico del Manual de Operación es el siguiente:
 - Introducción
 - Especificaciones del Tanque
 - Variables de Operación y Control
 - Procedimiento de Puesta en Frío
 - Procedimiento de Arranque y Parada de bombas
 - Protecciones
 - Seguridad
 - Tratamientos especiales
- i) Control presupuestario y de tiempos
- j) Informe final de Control de Calidad.

4.5 Puesta en Marcha

Una vez concluidas las Pruebas especificadas para el tanque, sus tuberías y accesorios, se procederá al Secado e inertizado del Tanque, con todas sus instalaciones anejas en estado funcional. A partir de ese momento el Contratista ya podrá realizar la Puesta en Frío del Tanque, lo que se efectuará en estrecha coordinación con ENAGAS al objeto de poder facilitar GNL en las cantidades necesarias para esta operación.

Durante el periodo de pruebas y puesta en frío se contará con un equipo de especialistas de bombas y procesos criogénicos. También se mantendrá un retén de los subcontratistas que han realizado el montaje del Tanque para realizar los pequeños ajustes, modificaciones o incluso operaciones de mantenimiento durante el periodo crítico de Pruebas y Puesta en Frío; la conformación de este equipo será acordada con ENAGAS.

Previamente a la Puesta en Frío se realizará una verificación del trabajo de Construcción contra los Diagramas de Tuberías e Instrumentos, así como de los puntos y comprobaciones de construcción críticos. Asimismo se preparará un programa detallado de Pruebas y Puesta en Marcha en base al Manual de Puesta en Marcha desarrollado por el Contratista y aprobado por ENAGAS.

Una vez todo listo se irá enfriando el Tanque tal como se ha descrito en la sección correspondiente de la Memoria de este Proyecto. Finalmente y tras completar todas estas acciones el Contratista efectuará la entrega formal del Tanque terminado y operativo.

5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Se utilizarán las Especificaciones técnicas que ENAGAS tiene desarrolladas para estas instalaciones, las cuales figuran en la tabla adjunta.

Descripción	Número
<p>1. Especificaciones Generales de Ingeniería</p> <p>Especificación general de diseño incluyendo criterios y estudios de seguridad del proyecto</p> <p>Especificación general de tanques de almacenamiento de GNL</p> <p>Especificación general de materiales de tubería</p>	<p>1. PT-EV060-DGTI</p> <p>PT-EM160-DGTI</p> <p>PT-EM660-DGTI</p>
<p>2. Especificaciones Generales</p> <p>Requisitos generales de soldadura</p> <p>Especificación de pintura/aislamiento</p> <p>Especificación de diseño de obra civil y estructura metálica</p> <p>Especificación de Criterios Sísmicos</p> <p>Especificación de electricidad</p> <p>Especificación de instrumentación</p>	<p>PT-EV960-DGTI</p> <p>PT-EV961-DGTI</p> <p>2. PT-EO960-DGTI</p> <p>PT-EO961-DGTI</p> <p>PT-EE460-DGTI</p> <p>PT-EI763-DGTI</p>
<p>3. Especificaciones de Compra de Equipos y Materiales</p> <p>3.1 Especificaciones Mecánicas</p> <p>Especificación de bombas primarias y secundarias</p> <p>Requisitos Generales para Suministro de tubería, accesorios y bridas</p> <p>Especificación de tubería no metálica</p> <p>Especificación de válvulas de bola criogénicas</p> <p>Especificación de válvulas de control criogénicas</p> <p>Especificación de válvulas de globo y retención criogénicas</p> <p>Especificación de válvulas de mariposa criogénicas</p> <p>Especificación de válvulas de seguridad criogénicas</p> <p>Especificación de válvulas no criogénicas</p> <p>Especificación de soportes criogénicos</p> <p>3.2 Especificaciones Eléctricas</p>	<p>PT-EM260-DGTI</p> <p>PT-EM661-DGTI</p> <p>PT-EM662-DGTI</p> <p>PT-EM860-DGTI</p> <p>PT-EM861-DGTI</p> <p>PT-EM862-DGTI</p> <p>PT-EM863-DGTI</p> <p>PT-EM864-DGTI</p> <p>PT-EM865-DGTI</p> <p>3. PT-EM760-DGTI</p>

Especificación de actuadores eléctricos para válvulas motorizadas	PT-EI560-DGTI
Especificación de cuadros eléctricos	PT-EE560-DGTI
Especificación sistema de alimentación SAI	PT-EE860-DGTI
Especificación de motores de baja tensión (BT)	PT-EE660-DGTI
Especificación de motores de media tensión (MT)	PT-EE661-DGTI
4. Especificación de Control e Instrumentación	
Especificación general de sistema de medida y análisis	4. PT-ET761-DGTI
Especificación sistema de bloqueo de proceso SSD	PT-EI760-DGTI
Especificación sistema de control distribuido DCS	PT-EI761-DGTI
Especificación de Sistema de Seguridad Activa (SSA)	PT-EI-762-DGTI
5. Especificaciones de Seguridad	
Especificación sistema contraincendios	5. PT-EV260-DGTI
Especificación sobre CCTV (Circuito cerrado de TV)	PT-ET561-DGTI
Especificación detección de incendios	PT-EV261-DGTI
6. Especificaciones de Montaje y Puesta en Marcha	
Especificación de montaje mecánico	6. PT-EC160-DGTI
Especificación de montaje de obra civil	PT-EC161-DGTI
Especificación montaje eléctrico	PT-EC162-DGTI
Especificación montaje de instrumentación	PT-EC163-DGTI
Especificación de pruebas hidráulicas, neumáticas y de fugas	PT-EC260-DGTI
Especificación de comisionado y puesta en marcha	PT-EC360-DGTI

6 PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES

6.1 NORMAS Y REGLAMENTOS APLICABLES

Para las Normas aplicables al Proyecto se estará a lo indicado en la Memoria, pero de forma particular se tendrán en cuenta los siguientes Reglamentos:

a) Generales

EN 1473

N.F.P.A. 59A

A.P.I. – 620.

b) Hormigones

Reglamento EHE - 08

Normativa NTE - CSL

ACI - 376.

c) Aceros

Reglamento DB – SE A

Normas A.S.T.M.

Normas A.S.M.E.

6.2 CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES

6.2.1 Hormigones

6.2.1.1 Componentes

- **Cemento:** La clase de cemento a emplear será Portland normal, P-350 en cimentación, pudiendo emplear P-450 o P-350 en los muros de hormigón pretensado. Será capaz de proporcionar al Hormigón las condiciones exigidas en los apartados correspondientes del presente Pliego.
- **Agua, Áridos y Aditivos:** Cumplirán lo prescrito en los artículos correspondientes de la Instrucción de Hormigón Estructural EHE – 08 publicada por el Ministerio de Fomento, edición 2011 (EHE-08, en adelante).

6.2.1.2 Tipos de Hormigón

Los hormigones a emplear serán los siguientes:

Unidad de obra	Consistencia	Resistencia característica a compresión (kg/cm ²)	Dosificación mínima cemento (kg/m ³)	Tamaño máximo del árido (mm)
H-1 Regularización del suelo	Fluida o blanda		150	25
H-2 Cimentación solera, con galería	Blanda o plástica	200	300	50 (40 en centro de solera)
H-3 Muros cilíndricos, cúpula	Blanda o plástica	300	350	40

Ningún hormigón tendrá, salvo justificación especial, una cantidad de cemento mayor de 400 Kg/m³.

6.2.1.3 Consistencia

Siempre que se fabriquen probetas, y a requerimiento del Director de Obra, se comprobará la consistencia de la masa de acuerdo con los siguientes asientos en el cono de Abrams:

- Consistencia fluida o blanda: 15 cm a 6 cm (-2 cm, +1 cm)
- Consistencia blanda o plástica: 9 cm a 3 cm (-0 cm, +1 cm).

6.2.1.4 Aireocluido

Para el hormigón H-3 de los muros cilíndricos se añadirá un aireante de reconocida garantía (SIKA o HALESA), que proporcione un volumen de aire ocluido del 4 + 1 %. Se comprobará la cantidad de aire ocluido una vez cada hora durante el proceso de hormigonado, efectuándose dicha comprobación con neumómetro.

6.2.1.5 Resistencia

a) Ensayos previos: Se realizarán, de acuerdo con el artículo correspondiente de la EHE-08, con el fin de que las resistencias medias obtenidas a los 3, 7 y 28 días puedan orientar, teniendo en cuenta las dispersiones que introduce la ejecución de la obra sobre la dosificación definitiva. A estos efectos, se realizarán por cada dosificación del H-2, o del H-3, 3 series de 3x4 probetas a romper a los 3, 7 y 28 días.

- b) Ensayos característicos: Sin necesidad de esperar a los resultados de los ensayos previos, se ejecutarán los ensayos característicos correspondientes a los hormigones H-2 y H-3, de acuerdo con la EHE-08. Para comenzar la colocación del hormigón del tipo H-2, y dada la facilidad de conseguir la resistencia exigida, será suficiente con disponer de resultados de los ensayos previos.
- c) Ensayos de control
- i) Hormigón H-2.- Según el apartado aplicable de la EHE-08, en el caso del hormigón H-2, por cada 100 m³ de hormigón a colocar, se efectuarán n=3 probetas de cada masa en N=5 amasadas (15 probetas). Los resultados obtenidos seguirán las normas de la EHE-08
 - ii) Hormigón H-3.- Se efectuarán en este hormigón los ensayos de control a nivel intenso, según la EHE-08. Los ensayos de control se efectuarán n=3 probetas por masa, y siendo el número de amasadas N=12 ó N=6, de acuerdo con el correspondiente apartado de la EHE-08. Los resultados de los controles a nivel intenso se complementan con lo allí indicado.

6.2.1.6 Ensayos del hormigón y gunita a baja temperatura

Según la norma NFPA 59 A, se requieren las siguientes pruebas del hormigón y de la gunita en condiciones de frío:

- Resistencia a la compresión a baja temperatura
- Coeficiente de contracción o expansión térmica a baja temperatura.

Si los áridos en la obra no varían y son siempre los mismos, se requiere un mínimo de cuatro pruebas para el hormigón del muro cilíndrico interno y cuatro pruebas para la gunita, también del muro cilíndrico interno, de las pruebas citadas anteriormente. Si los áridos varían, se deben repetir las pruebas para los nuevos áridos empleados.

También se requiere, en temperatura ambiente, la determinación del módulo de elasticidad del hormigón empleado.

La forma de ejecución de los ensayos de contracción y expansión a baja temperatura se detalla aparte.

6.2.2 Aceros de armar y pretensar

6.2.2.1 Aceros para armar

El fabricante de las barras corrugadas suministrará:

- Un certificado de homologación de adherencia, de acuerdo con el apartado aplicable de la EHE-08.
- Un certificado de características mínimas y otro de ausencia de grietas, por cada suministro de 20 000 kg (según el mismo apartado de la EHE-08).

En cualquier caso se cumplirán las prescripciones del acero especificadas en la O.C. 295 – 87 (apartado 241). El acero suministrado llevará grabadas las marcas de identificación indicadas en la citada orden. El fabricante además indicará si el acero es apto para el soldeo.

El fabricante de las mallas electrosoldadas suministrará certificados del cumplimiento de todas las prescripciones indicadas en la EHE-08. Las barras cumplirán las prescripciones del acero especificadas en la O.C. 295 – 87 (apartado correspondientes a las mallas).

Los ensayos standard quedan así incluidos en los certificados que aporta el fabricante.

6.2.2.2 Aceros de pretensado

- a) Certificados de fabricación: El fabricante suministrará certificados de homologación de sus aceros de pretensado, o en su defecto, certificados de resistencia, diagramas esfuerzos/deformaciones, diagramas de relajación. Estos certificados se refieren al acero de las armaduras postesas verticales. En relación con las armaduras del pretensado horizontal, y dado que estas armaduras sufren un trefilado en la misma obra, el fabricante sólo indicará las cargas mínima y máxima de rotura y el certificado del cumplimiento de la composición química que se indica más adelante.
- b) Resistencia y tensiones iniciales: En las armaduras de pretensado vertical la carga de rotura mínima debe ser de 165 kg/mm^2 . El tesado de las mismas, se hará al 70% de la carga mínima de rotura. En cuanto a las armaduras a trefilar en el pretensado horizontal, la carga de rotura antes del trefilado debe estar comprendido entre 145 y 165 kg/mm^2 . El tesado se hará (medido ya sobre sección reducida) entre 90 y 110 kg/mm^2 .

c) Ensayos standard: El fabricante deberá suministrar, junto con el material, los siguientes certificados para el acero del pretensado vertical:

- Carga de rotura para todos los rollos
- Límites elásticos convencionales (0,1 % - 0,2 %), cada 10 rollos
- Alargamiento de rotura cada 10 rollos
- Diagrama tensión/deformación cada 20 t
- Relajación a 5 días cada 50 t (aunque el ensayo se realice después del envío del acero).

En cuanto al acero de pretensado horizontal, los certificados serían:

- Carga de rotura cada 5 rollos
- Composición química cada 50 t.

d) Composición química del alambre de acero para pretensado horizontal

Los límites por elemento serán los siguientes:

	<u>Mínimo</u>	Máximo
Carbono	0,55 %	0,80 %
Manganeso	0,60 %	1,00 %
Silicio	0,10 %	0,35 %
Azufre	0	0,05
Fósforo	0	0,05

e) Relajación: El acero de pretensado vertical tendrá una relajación máxima, al 70% de su carga de rotura y a 20 °C, del 2,5 % (transcurridas mil horas).

f) Pruebas a baja temperatura: En el acero de pretensado vertical se harán ensayos de tracción y los que se determinen referentes a la relajación del material. Estos tipos de pruebas se realizarán sobre cinco muestras. En el alambre de acero del pretensado horizontal se realizarán los ensayos de la *Tabla 9*:

Tabla 9 Ensayos en el alambre del acero pretensado horizontal

N° de muestra	Longitud del alambre	Longitud de calibrado	N° de muestras	Tipo de prueba
1	60 cm	15 cm	3	Resistencia a tracción a 20 °C
2	60 cm	15 cm	3	Resistencia a tracción a -196 °C
3	60 cm	15cm	3	Prueba con entalladura a 20 °C
4	60 cm	15 cm	3	Prueba con entalladura a -196 °C

La entalladura circunferencial se conseguirá mediante la utilización de un útil con ángulo de 45° y radio en el filo de 0,025 mm máximo.

6.2.3 Acero al Carbono; chapas

Las chapas de acero al carbono, de carga de rotura baja o intermedia, se fabricarán para su empleo en las calidades que exigen “calidad estructural”.

6.2.3.1 Composición

El análisis de colada de estas chapas deberá cumplir con los siguientes límites:

- Fósforo, máx. % 0,04
- Azufre, máx. % 0,05.

6.2.3.2 Ensayos de tracción

El ensayo de tracción se hará de acuerdo con lo indicado por ASTM A-20 “Requisitos Generales para el Suministro de chapas de acero para recipientes a presión”. En esta norma se indica, además del método operativo, el número de pruebas, la situación y orientación de las probetas, etc. Los valores que deben alcanzarse, son los siguientes:

	PSI	kg/cm ²
Carga de rotura	55 000 a 65 000	3 870 a 4 570
Límite elástico	30 000	2 110
Alargamiento probeta 200, mín. %	22	
Alargamiento probeta 50, mín. %	25	

6.2.3.3 Soldabilidad

El procedimiento de soldadura se califica según lo requerido por el código ASME Sección IX, el cual, mediante unos ensayos de tracción y plegado, comprueba la soldabilidad del acero, así como la aptitud de Procedimiento de Soldadura.

6.2.3.4 Espesores

El control de espesores se hace en siderúrgica; las chapas vienen todas clasificadas por medidas y espesores. Comprobaciones posteriores se hacen en taller mediante tornillos micrométricos (sensibilidad 0,02 mm) o ultrasonidos.

6.3 Certificados

Todos los materiales vendrán recepcionados por una Sociedad de Control Independiente, como Lloyd's Register, American Bureau, etc., cuando se trate de chapas; en certificado que extiendan reflejarán las características mecánicas y químicas de los productos.

Los materiales que sean perfiles estructurales, no tendrán certificado de calidad, pero los de tamaño mayor tendrán grabada su calidad en una de las superficies. En los perfiles pequeños no se graba la calidad debido a la imposibilidad de espacio, además de una menor responsabilidad dentro de la construcción.

Con relación a los certificados de las chapas, en las de espesor menor de 8 mm los paquetes de estas chapas vienen flejados y en la primera chapa viene grabada con el n° de colada y de bobina. Las chapas más gruesas que las indicadas, están grabadas, chapa a chapa, con el n° de colada y n° de chapa.

6.3.1 Acero criogénico

Estos aceros son aquéllos que, debido a sus condiciones de aleación, son capaces de permanecer tenaces a muy bajas temperaturas.

6.3.1.1 Certificados de fabricación

Se va a usar principalmente acero al 9% de níquel, aunque algún elemento irá también en AISI 304, de los cuales se aportarán los oportunos certificados de fabricación.

6.3.1.2 Composición y Resistencia

a) Acero A-353 (9% Níquel)

- Carbono, max. 0,13
- Manganeso, max. 0,90
- Fósforo, max. 0,035
- Azufre, max. 0,040
- Silicio, (colada) 0,15 / 0,30
- Níquel, (colada) 8,50 / 9,50

	PSI	kg/cm ²
Carga de rotura	100 000 a 120 000	7 030 a 8 440
Límite elástico	75 000	5 274
Alargamiento probeta 50, mín. %	20	

b) AISI 304 (A-240 tp 304)

- Carbono, max. 0,08
- Manganeso, max. 2,00
- Fósforo, max. 0,045
- Azufre, max. 0,030
- Silicio, max. 1,00
- Cromo 18,00 / 20,00
- Níquel 8,00 / 10,50

	PSI	kg/cm ²
Carga de rotura	75 000	5 274
Límite elástico	30 000	2 110
Alargamiento probeta 200, mín. %	40	

Dureza máxima	183 HB
---------------	--------

6.3.1.3 Ensayos de resiliencia

El ensayo de resiliencia se va a realizar según indica el Código API 620 Q.2.1.1., que requiere lo siguiente:

- Todas las probetas deben ser tomadas en el sentido transversal a la dirección final de laminación
- Las probetas del ensayo Charpy V se ensayarán a $-195,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, según A-20
- Los valores que deben de obtenerse en este ensayo de resiliencia son:

Probeta	Media de 3 probetas	Mínimo 1 probeta
10 x 10	20	16
10 x 7,5	15	12
10 x 6,67	13	10
10 x 5	10	8
10 x 3,33	7	5
10 x 2,5	5	5

(Todos los valores de resiliencia en ft·lb).

- Cada prueba de resiliencia se hará con un juego de tres probetas y la expansión lateral en cada una de ellas, en el lado opuesto a la entalla, no será menor de 0,915", como requiere la norma ASTM.
- Los ensayos contradictorios deberán hacerse como indica la norma ASTM correspondiente.

6.3.1.4 Otros ensayos

Además de los ensayos anteriores, se realizarán los siguientes:

- Se requerirán los puntos S2, S4 y S8 de A-353
- Todas las chapas se examinarán con ultrasonidos por ondas longitudinales de acuerdo con A-435
- Debe comprobarse que el magnetismo residual sea menor de 50 Oersted.

6.3.1.5 Soldabilidad

Se comprobará la soldabilidad del material base, así como la aptitud del Procedimiento de Soldadura, mediante los ensayos requeridos por ASME sección IX.

6.3.1.6 Espesores

Como en el caso anterior, las chapas serán suministradas clasificadas; de todas maneras, se harán posteriores comprobaciones mediante tornillo micrométrico o ultrasonidos.

6.3.1.7 Certificados

Como en el caso anterior, los materiales serán suministrados recepcionados por un Organismo Internacional como Lloyd's Register o American Bureau of Shipping.

6.3.1.8 Manejo y almacenamiento

Durante su manipulación se pondrá especial cuidado en mantener perfectamente limpio este material de restos de cobre, o cualquier otro producto que pueda afectarle, procediéndose en tal caso a su perfecta limpieza.

El almacenamiento se hará en lugar que garantice la buena conservación de estos materiales.

7 CONTROL DE EJECUCIÓN

7.1 Hormigones

7.1.1 Suministro y almacenamiento del cemento

En relación con el suministro y almacenamiento del cemento se cumplirá lo dispuesto en la EHE - 08.

7.1.2 Fabricación del hormigón

La fabricación del hormigón previamente a su transporte a obra, se ajustará en todo momento a los requisitos de la EHE - 08.

3.1.3 Transporte, puesta en obra y compactación del hormigón

Se ejecutarán estas operaciones de acuerdo con el artículo correspondiente de la EHE - 08.

Las tongadas del hormigón H.3, en los muros, no tendrán una altura superior a 1,30 m.

En toda la obra se utilizarán vibradores internos, de una frecuencia igual o superior a 6 000 ciclos por minuto.

7.1.3 Encofrados

Toda la cimentación se encofrará con madera, y los muros cilíndricos con encofrados metálicos.

Todos los encofrados cumplirán con lo requerido en la EHE - 08.

7.1.4 Juntas de hormigonado

Las juntas se harán de acuerdo con lo especificado en la EHE - 08.

7.1.5 Hormigonado con tiempo frío, caluroso o con lluvia

El hormigonado se hará siempre de acuerdo con los requerimientos de la EHE - 08. Únicamente en caso de lluvia intensa, el transporte del hormigón se hará protegiendo éste debidamente. En el tajo se adoptarán las mismas condiciones, interrumpiéndose incluso el hormigonado si las condiciones así lo requieren.

7.1.6 Curado del hormigón

Las superficies horizontales se mantendrán con humedad durante un período de 7 días.

En los paramentos verticales se utilizará un antisol de reconocida calidad.

De forma general, se seguirá lo dictaminado en la EHE - 08.

7.1.7 Desencofrado

Los encofrados verticales podrán retirarse doce horas después de haberse efectuado el hormigonado.

El desencofrado del techo de la galería se hará 15 días después de haberse hormigonado, o antes, previa comprobación de que la resistencia alcanzada por el hormigón es suficiente para soportar los esfuerzos a que va a ser sometido.

7.1.8 Edad y resistencia para pretensar

Independientemente de las probetas para el control de obra, señalado en 2.1.5 c, se confeccionarán cada día de hormigonado 6 probetas más de distintas masas destinadas a comprobar, antes del pretensado de cada capa de alambres del pretensado horizontal, que el diagrama de compresiones de dicho pretensado (en toda la altura del muro) multiplicado por 1,10 x 1,50 queda por debajo de los resultados de la rotura de probetas, también según sus alturas correspondientes.

Se prevé iniciar el pretensado 5 días después de haber terminado el hormigonado del muro, y que el pretensado total puede durar, como mínimo, 30 días, previendo con estas hipótesis que el hormigón tendrá suficiente margen para haber adquirido las resistencias necesarias.

7.2 Acero de armar

7.2.1 Comprobación de diámetros

A requerimiento de la Propiedad, se podrá hacer un muestreo mediante calibrador a pie de tajo.

7.2.2 Colocación de solapo

Las armaduras se colocarán limpias, exentas de óxido no adherente, pintura grasa o cualquier otra sustancia perjudicial. Se seguirán, en general, todas las prescripciones aplicables de la EHE - 08.

Los empalmes serán por solapo, no por soldadura, y se harán de acuerdo con el apartado correspondiente de la EHE - 08. A efectos prácticos, serán de una longitud de 40 diámetros.

Para el corte de los redondos podrán utilizarse grupos de oxicorte.

7.2.3 Recubrimientos

Para los recubrimientos de las barras con hormigón se estará a lo dispuesto por la EHE - 08.

7.2.4 Doblado

El doblado de las barras se efectuará según estipulado en la EHE - 08.

7.2.5 Soldadura

Solamente se permiten soldaduras a efectos de montaje y sujeción.

7.2.6 Anclajes de barras corrugadas

Los anclajes de las barras seguirán el apartado correspondiente de la EHE - 08. A efectos prácticos, los anclajes serán en prolongación recta y con una longitud de 40 diámetros.

7.3 Acero para pretensar

7.3.1 Pretensado horizontal. Control de tesado y recubrimientos de gunita

El pretensado horizontal se efectuará en una o varias capas de alambres. Cada capa tendrá una serie de espiras bobinadas con una máquina especial que trefila el alambre en obra, reduciéndolo de diámetro y consiguiendo las tensiones requeridas.

El número máximo de espiras por cada 30 cm de altura en cada capa será de 25.

El control de tesado se hará mediante instrumentos adecuados (tensímetros PRELOAD), realizándose un muestreo de tres lecturas de densímetro por cada 30 cm de altura. El resultado de estos controles se obtendrá antes de iniciar el tesado de la capa siguiente.

Dado que la tensión teórica requerida de 100 kg/mm^2 sólo supone una aproximación, cada nueva capa se dimensionará en su número de espiras (en cada tramo de 30 cm), de acuerdo con los resultados de las capas anteriores.

Entre capa y capa de alambre, se coloca una capa de gunita de aproximadamente 5 mm de espesor libre y la capa final de 25 mm mínimos. Dicho espesor final puede comprobarse mediante muestreo con aparato magnético (pachómetro).

La gunita se proyecta a una presión de salida en máquina gunitadora de unos 4 kg/cm^2 , con tobera de $1 \frac{1}{2}$ " ó $1 \frac{1}{4}$ " de diámetro. La adherencia entre la gunita y el alambre y entre las distintas capas de gunita debe ser perfecta.

7.3.2 Pretensado vertical

El pretensado vertical se hará utilizando un procedimiento de reconocida idoneidad. En principio consideramos los sistemas FREYSSINET o STRONGHOLD.

Consideramos preferibles los tendones formados por cordones 1x7+0 en lugar de alambres lisos.

El tesado de cada tendón se ejecutará solamente desde el anclaje superior. El tesado se controlará mediante la lectura de los manómetros en las bombas, y mediante el alargamiento total de los cables. A estos efectos, se confeccionará un cuadro de tesado en el que se reflejen los datos obtenidos de las diferentes mediciones de alargamientos y lecturas de manómetro de cada tendón. En todo momento se seguirá lo dispuesto en la EHE – 08, en el apartado correspondiente al hormigón pretensado, incluido lo referente a la inyección de relleno de los conductos y vainas.

7.4 Acero al Carbono; chapas

Indicamos en este apartado las medidas de control que se emplearán durante el montaje de la parte metálica. De modo general, se seguirá lo estipulado en los códigos A.S.M.E. y A.P.I.-620.

7.4.1 Calificación de soldadores

Los soldadores que intervengan en este trabajo serán previamente calificados, según código A.S.M.E. IX. Una vez realizado este examen, se les extenderá el certificado correspondiente.

La prueba que deben realizar los soldadores, deberá realizarse de acuerdo con el Procedimiento de soldadura establecido. Pueden admitirse las variaciones establecidas por el Código A.S.M.E. IX.

La calificación podrá hacerse mediante el plegado de probetas o, como alternativa, mediante radiografías.

También es aceptable el trabajo de soldadores que estén calificados con el mismo procedimiento en un tiempo anterior, aunque deberá tener el certificado no más antiguo de seis meses, si es que no ha trabajado continuamente con el mismo procedimiento.

7.4.2 Electrodo

Los electrodos a emplear estarán de acuerdo con lo especificado en la norma A.S.M.E. sección V. Los empleados en la parte de acero carbono serán del tipo E 7018, o sea, bajos en hidrógeno; una composición típica de los mismos es:

C	0,084 %
Mn	0,90 %
P máx.	0,02 %
S máx.	0,02 %
Si	0,48 %

Las características mecánicas requeridas son las siguientes:

Resistencia	52-56 kg/mm ²
Límite Elástico	48-50 kg/mm ²
Deformación	30-32 %

Estos electrodos son del tipo básico, por lo cual deberá tenerse especial cuidado en su almacenamiento. El almacenamiento de estos electrodos deberá realizarse en un lugar seco y ventilado, de manera que estén alejados de cualquier humedad. Deberán usarse directamente en su envase, que es hermético, o si no deberán mantenerse en una estufa a 150 °C durante una hora como mínimo.

7.4.3 Mecanizado de las uniones

El mecanizado de las uniones podrá realizarse mediante dos procedimientos:

- Cortes rectos
- Cortes curvos.

Los bordes se preparan, a título orientativo, de acuerdo con los siguientes chaflanes:

espesor < 6,5 mm	Bordes rectos
6,5 mm < espesor < 11 mm	Bordes en "V"
espesor > 11 mm	Bordes en "X" o "Y"

Previamente al inicio del corte deberán consultarse las fichas de control del banco de oxicorte.

Los cortes rectos se hacen mediante un banco de oxicorte paralelo.

Los cortes curvos se confeccionarán mediante plantillas de corte, previo trazado de los puntos coordinados previamente calculados. Se empleará un proceso de corte semi-automático, con chaflanes parecidos a los anteriores.

Después del proceso de preparación y ejecución, se comprobarán las dimensiones de los cortes así como el estado de los bordes.

7.4.4 Posiciones para soldar

Las posiciones básicas, descritas por el Código ASME IX son:

- Chapa:
 - En plano (1G)
 - En cornisa (2G)
 - En vertical (ascendente o descendente) (3G)
 - En techo (4G)
- Ángulo:
 - Bisectriz de cordón vertical (1F)
 - Eje del cordón horizontal (2F)
 - Eje del cordón vertical (3F)
 - Eje del cordón horizontal y techo (4F).

3.4.1 Control de soldadura

Las soldaduras horizontales y verticales de las barreras de vapor, interna o externa, se comprobarán por una cara al 100 % con líquidos penetrantes para detectar posibles grietas. En caso de encontrarse alguna indicación rechazable, se procederá a su reparación como más tarde se indica.

Las soldaduras de los fondos se probarán por el método de la caja de vacío, de acuerdo con API-650. El vacío a alcanzar será el que indique una presión absoluta de 506 mm Hg.

7.4.5 Conformación de chapa

La conformación de la chapa se realizará en una “Curvadora” de 5 rodillos, para tener la posibilidad de dar “entradas”. Previamente a este curvado se confeccionará una plantilla de

curvado para la comprobación del trabajo realizado, mediante el control de las fases intermedias del mismo.

Los perfiles, tubos, ángulos, etc., se curvarán en una máquina de curvado hidráulica; el proceso es similar al anterior, necesitándose también una plantilla de curvado.

7.4.6 Reparación de soldaduras

Siempre que al hacer el control de las soldaduras se obtenga una indicación rechazable, se procederá a su reparación. Para la reparación se utilizará una máquina esmeril, con la cual se levantará la parte de soldadura defectuosa hasta hacer desaparecer el defecto detectado; algunas veces requerirá el levantamiento total de la soldadura. A continuación se volverá a soldar con el mismo procedimiento de soldadura aprobado.

7.4.7 Ejecución de conectores

Los conectores se soldarán a la chapa base aplicando el mismo procedimiento de soldadura homologada para el material base, con el mismo electrodo, y por soldador homologado.

7.4.8 Elevación de la cúpula

La cúpula de acero se construirá en el suelo y se elevará a su posición definitiva por medio de gatos hidráulicos colocados en soportes provisionales alrededor de la parte superior del perímetro de la pared del tanque interior, o por inyección de aire a presión en el espacio entre cúpula, suelo y paredes del tanque interior. En ambos casos se seguirán los procedimientos debidamente verificados y aprobados por la Dirección de Obra.

7.4.9 Limitaciones atmosféricas

Los trabajos de soldadura se suspenderán cuando existan algunas de las siguientes inclemencias atmosféricas:

- Lluvia
- Temperatura inferior a -5 °C
- Escarcha o nieve.

En cualquier caso, podrá continuarse el trabajo si se secan y precalientan las juntas a soldar.

7.4.10 Tolerancias dimensionales

Las tolerancias de API-650 que son las aplicables a nuestro caso se detallan a continuación. El propósito de estas tolerancias es fabricar un tanque de apariencia aceptable y permitir el correcto funcionamiento de los techos flotantes.

- a) Verticalidad total: el máximo desplome de la pared hacia afuera en el borde superior del cuerpo con relación al inferior, o del fondo, no excederá de $1/200$ de la altura total del tanque
- b) Verticalidad local: el desplome de una chapa del cuerpo no excederá de los valores aceptados por la tolerancia de la siderúrgica, indicados en ASTM A-20 tabla 10, para la chapa de 5 / 6 mm (nuestro caso)
- c) Deformaciones locales horizontales y verticales: Usando una regla de 914 mm, la desviación de la deformación no será mayor de 12,7 mm.

Para cumplir las anteriores tolerancias es necesario que la base esté terminada. Esta debe tener una adecuada superficie de apoyo para mantener el tanque bien nivelado; cuando la cimentación tiene una zapata de hormigón anular (nuestro caso), debe mantenerse nivelado entre los siguientes límites:

- a) En una longitud de 9 144 mm: $\pm 3,175$ mm
- b) En toda la circunferencia: $\pm 6,35$ mm.

7.5 Aceros criogénicos

Como en el caso de las chapas de acero al carbono, se seguirán las recomendaciones de los códigos A.S.M.E. y A.P.I. 620. Los requisitos son los mismos que se definieron para los aceros al C en el capítulo anterior, con dos únicas diferencias, a saber:

a) *Electrodos*

De acuerdo con la sección V de la norma A.S.M.E., los electrodos estarán revestidos de base níquel. La composición estará entre estos intervalos:

- Níquel 50 a 70 %
- Cromo 15 %
- Hierro 10 %
- Niobio, titanio o wolframio 25 a 5 %.

Los electrodos deben ser calentados durante dos horas a 260°C en una estufa bien ventilada y preferiblemente eléctrica. Si no se utilizan poco tiempo después de realizada esta

operación, deben ser almacenados en una estufa a 120°C. Cuando los electrodos se usan directamente de envase pueden meterse en la estufa a 120°C. Todas estas precauciones contribuyen a reducir la fisuración y la porosidad en las soldaduras.

El almacenamiento de estos electrodos deberá realizarse en un lugar seco y ventilado, de manera que estén alejados de cualquier humedad.

b) Mecanizado de las uniones

Se hace exactamente igual que anteriormente, con las siguientes excepciones:

- Los ángulos de los chaflanes deberán ser mayores que en acero al carbono, debido a la baja penetración del electrodo
- Después del oxicortado, deben esmerilarse los bordes con el fin de eliminar el óxido formado.

8 Bibliografía

- *Empresa Nacional del Gas.- Tanque de 80000 m³ de GNL:Diseño Básico. 1980*
- *P. C. I.- Fundamentals of pre-stressed concrete design*
- *K. Beyer.- Estática en el hormigón armado*
- *ENAGAS.- Manual de Operaciones, Terminal de Cartagena. 1992*
- *Atlantic LNG.- Operating Manual, LNG Tanks A and B. 1998*
- *Respsol S. A.- Comparación de Costes, proyecto B. B. G. (Bilbao). 2004*
- *Peru LNG.-LNG Storage Tanks: Front End Engieneering and Design. 2007*
- *P. Jiménez Montoya.- Hormigón Armado. 2008*

(Nota.- La Normativa utilizada en este proyecto se encuentra listada en el *Apartado 3.5.3*)

**TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GNL PARA LA AMPLIACIÓN DE LA
PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE BARCELONA**

Documento 4: ANEXOS

ANEXO A: Presupuesto de Inversiones

1	<u>Precio del EPC (cifras en miles de euros).-</u>	74 040
1.1	Dirección e Ingeniería Dirección del EPC, Control del proyecto, Ingeniería de Detalle, Estudios contratados y Apoyo a las Compras de equipos y materiales y a la Construcción de instalaciones	7 330
1.2	Equipamiento (incluida instalación):	
1.2.1	<i>Tuberías</i> Columnas de bombas, sistemas de llenado superior e inferior, circuitos de vapor, recirculación y enfriamiento, purgado de N2, agua anti-incendios, sistemas de alivio de presión y de vacío y tuberías para servicios e instrumentación, incluidas todas las válvulas, bridas y demás accesorios; así como el pintado y aislamiento necesario de todas las líneas	2 650
1.2.2	<i>Estructuras metálicas</i> Plataforma superior y sistema de elevación de bombas, soportes y plataformas de tuberías, escaleras completas, ascensor y otros elementos estructurales	4 400
1.2.3	<i>Instrumentación</i> Detección de fugas, servicio anti-incendios, medición de nivel de GNL, prevención de sobrellenado, rotura de vacío, válvulas de seguridad, venteos, termopares, manómetros	2 910
1.2.4	<i>Bombas primarias</i> 4 bombas criogénicas, con motor eléctrico, válvulas, cables y accesorios	4 900
1.2.5	<i>Equipamiento eléctrico</i> Cableado de distribución, caldeo del suelo, conexiones, alumbrado, tomas de tierra y protecciones	1 600
1.2.6	<i>Gestión de Compras</i> Servicios de contratación, activación, inspección, transporte,	3 000

	seguros, aduanas y apoyo logístico	
1.3	Construcción y montaje del tanque (incluida Supervisión y Control / Inspección en todos los conceptos):	
<i>1.3.1</i>	<i>Cimentación</i> Excavaciones, placa base y zapata concéntrica de hormigón armado (incluido el suministro del hormigón y armadura metálica)	<i>3 800</i>
<i>1.3.2</i>	<i>Tanque exterior</i> Paredes y techo de hormigón pretensado, así como forro cilíndrico del tanque (incluido el suministro del hormigón, alambres de acero y chapa de acero al C)	<i>20 100</i>
<i>1.3.3</i>	<i>Bóveda metálica</i> Forro metálico, techo suspendido del tanque interior y obras asociadas (incluido el suministro de perfiles y chapa de acero al C, alambres y plataforma de Al)	<i>3 050</i>
<i>1.3.4</i>	<i>Tanque interior</i> Pared y suelo de acero al 9% Ni, base del tanque, fondo secundario, trabajos estructurales y protección de esquinas (incluido el suministro de las chapas de acero al 9% Ni, acero al C, anclajes, etc.)	<i>13 500</i>
<i>1.3.5</i>	<i>Aislamientos</i> Aislamiento de fondo, esquinas, espacio anular y cubierta suspendida, incluido el suministro de materiales (perlita expandida, mantas de fibra de vidrio, briquetas de foamglass) así como la pintura y protecciones necesarias	<i>4 800</i>
<i>1.3.6</i>	<i>Varios</i> Instalaciones y Servicios temporales, Salud/Seguridad/Medioambiente	<i>2 000</i>
2.	<u>Costes Indirectos.-</u>	<i>13 430</i>

	<ul style="list-style-type: none"> -Dirección del Proyecto (ENAGAS) -Supervisión del Contratista de EPC -Ingeniería Básica y Consultores -Estudios de Riesgos e Impacto Ambiental -Adquisición del terreno -Permisos y Autorizaciones -Movimiento de tierras y recarga del terreno -Preparación para la Operación -GNL de enfriamiento, talón y pruebas -Recepción de instalaciones y Puesta en marcha 	
	GRAN TOTAL	87.470 k€

ANEXO B: Modelo Económico

ANEXO C: Informe Geotécnico

E IBERIA, S. A.

INFORME
ESTUDIO DE SUELOS Y CIMENTACIONES
NUEVO TANQUE DE G.N.L.
PIANTA REGASIFICADORA DE BARCELONA
PARA ENAGAS

E. N. A. G. A. S.
N.º de entrada <u>1982</u>
26 MAYO
N.º de salida _____

6639-004-40

INDICE

	<u>Página</u>
INTRODUCCION	1
CONSIDERACIONES DE PROYECTO	3
OBJETO Y ALCANCE DEL ESTUDIO	6
DESCRIPCION DE LOS TERRENOS	8
TRABAJOS REALIZADOS PARA EL RECONOCIMIENTO DE CAMPO	8
ASPECTOS SUPERFICIALES	10
CARACTERISTICAS DEL SUBSUELO	12
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	14
GENERALIDADES	14
CIMENTACION DEL TANQUE EN LAS CONDICIONES ACTUALES DEL TERRENO	15
Estabilidad	15
Asientos durante la prueba hidráulica	15
Asientos en explotación	18
Comentarios	19
MEJORA PREVIA DE LAS CONDICIONES DEL TERRENO	22
Generalidades	22
Situación y Dimensiones de la Sobrecarga	22

Duración de la Sobrecarga	23
Asientos debidos a la sobrecarga	24
Control del ensayo de precarga	25
CIMENTACION DEL TANQUE DESPUES DE COLOCAR PREVIA- MENTE LA SOBRECARGA	25
ASIENTOS DEBIDOS A CARGAS CICLICAS	27
CIMENTACION DE LAS PAREDES DEL TANQUE	28
LICUEFACCION DEL RELLENO	29
OTRAS RECOMENDACIONES	29
NOTA FINAL	31

APENDICE. RECONOCIMIENTO DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO

INFORME

ESTUDIO DE SUELOS Y CIMENTACIONES

NUEVO TANQUE DE G.N.L.

PLANTA REGASIFICADORA DE BARCELONA

PARA

ENAGAS

INTRODUCCION

En este informe se presentan los resultados de nuestro "Estudio de Suelos y Cimentaciones, Nuevo Tanque de G.N.L., Planta Regasificadora de Barcelona, para ENAGAS".

Se trata de un tanque para almacenamiento de G.N.L. de 80.000 m³ de capacidad que ENAGAS ha decidido instalar en su planta de la Zona Franca de Barcelona, anteriormente propiedad de GAS NATURAL, S.A.

La planta ocupa una superficie de unas doce hectáreas en un área de 750 x 300 metros cuadrados, ganada parcialmente al Mar Mediterráneo mediante un relleno hidráulico ejecutado

en 1.967. Consta de un tanque para almacenamiento de GNL de 80.000 m³ de capacidad, dos de 40.000 m³ y otros dos más pequeños para butano y propano, así como una zona de procesos y pequeñas edificaciones dedicadas a oficinas.

Cuando se comenzó el estudio no se había decidido la ubicación del tanque en la planta y se estaban considerando tres posibles emplazamientos, denominados como "A", "B" y "C"; de acuerdo con ingenieros de ENAGAS y debido a la urgencia que realmente existía por disponer de las conclusiones del estudio a la mayor brevedad, una vez se hubiese adoptado una decisión definitiva sobre la ubicación del tanque, se decidió iniciar el reconocimiento de campo simultáneamente en los tres emplazamientos considerados.

El emplazamiento "B" fué desechado en primer lugar. Finalmente se decidió, por condicionantes de proyecto, instalar el tanque en el emplazamiento "A" prácticamente en línea con los tanques de G.N.L. existentes.

Todas las conclusiones que se presentan en apartados posteriores se refieren al emplazamiento "A". Se incluyen también los registros de los sondeos perforados en los emplazamiento "B" y "C".

La distribución de la planta y la situación en ella de los tres emplazamientos considerados del tanque se muestra en Lámina 1; en el ángulo superior derecho de dicha lámina se presenta la ubicación de la planta respecto de las poblaciones próximas y accesos más importantes.

Para la realización del estudio se han tenido en cuenta todos los datos obtenidos en los anteriores estudios efectuados en la planta y para las instalaciones adyacentes de TERQUIMSA, así como la experiencia proporcionada por el comportamiento de los tanques existentes.

CONSIDERACIONES DE PROYECTO

El nuevo tanque previsto tendrá una capacidad de almacenamiento de 80.000 m³; el diámetro será de unos 55 a 60 metros y la altura de unos 35 a 45.

La carga que transmitirá el tanque en explotación será del orden de $2,0 \text{ Kg/cm}^2$; durante la prueba hidráulica será un 25% superior, es decir, del orden de $2,50 \text{ Kg/cm}^2$. El peso propio del tanque impondrá bajo las paredes una carga adicional de unas 30 a 35 Tn/m.l.

Debido a la baja temperatura (-160°C) que se debe mantener en el interior del tanque, es necesario colocar capas de aislamiento en las paredes y en el fondo.

No se ha adoptado todavía una decisión definitiva sobre la empresa suministradora del tanque, por lo que no se conocen con precisión sus características; no obstante, sabemos que básicamente se están considerando dos tipos de tanque.

Uno de ellos es de tipología similar a la del tanque existente de 80.000 m^3 , es decir, de doble pared metálica con la capa de aislamiento intercalada y fondo también de chapa metálica; para el tanque actual se prevé construir una pared exterior de protección de hormigón. Los asientos admisibles en este tipo de tanques son muy reducidos; orientativamente,

se pueden asumir los siguientes criterios facilitados en 1.972 para el proyecto de la cimentación del tanque anteriormente indicado:

- a) En opinión de la empresa suministradora, el tanque podía soportar, sin peligro, un máximo asiento diferencial de 20 centímetros entre centro y bordes, pero la garantía del tanque no cubría daños debidos a asientos diferenciales superiores a 10 centímetros.
- b) El radio de curvatura de la deformada en cualquier punto de la periferia del tanque (centro del aislamiento), debía ser mayor de 200 veces el diámetro del tanque. El valor numérico de los asientos diferenciales que el criterio anterior representa no fué concretado por los proyectistas; en consecuencia, se consideró, de acuerdo con ingenieros de GAS NATURAL, S.A., que el asiento diferencial máximo admisible entre puntos de la periferia del tanque separados medio cuadrante era de 2 centímetros.

El segundo tipo de tanque considerado es de paredes y fondo de hormigón pretensado, al igual que los dos primeros tanques de 40.000 m³ de capacidad. Según ha informado la empresa suministradora, la magnitud de los asientos diferenciales admisibles para este tipo de tanque es muy superior a la fijada por los criterios anteriores.

No conocemos la diferencia de cotas que existirá entre el fondo del tanque y el nivel de explanación actual de la planta; se cree que puede oscilar entre uno y dos metros.

OBJETO Y ALCANCE DEL ESTUDIO

El objeto y alcance del estudio se define en sus especificaciones técnicas, adjuntas a su carta de petición de oferta de fecha 12 de Septiembre de 1.975; como se indicaba en nuestra oferta de fecha 29 de Septiembre estábamos básicamente de acuerdo con dicho alcance.

Específicamente se solicitaba en su petición de oferta obtener la siguiente información:

1. Tipo de cimentación recomendada con el terreno en su estado actual o bien mejorado con algún tipo de presolicitación.
2. Descripción, en su caso, del método recomendado para mejorar el terreno. Determinación del tiempo necesario para conseguir la consolidación del suelo, así como indicación de los sistemas de medida y control del proceso de mejora del terreno.
3. Determinación de los asentamientos originados por el sistema de presolicitación del terreno y fijación de las curvas asentamientos-tiempo.
4. Cálculo de los asentamientos del tanque en el centro y periferia, tanto absolutos como diferenciales, durante la prueba de agua y durante la carga del mismo, así como las curvas de asentamientos-tiempo.
5. Evaluación de los incrementos de los asentamientos debidos a los ciclos de carga y descarga.

6. Recomendaciones para la preparación de apoyo de la cimentación del tanque.
7. Determinación del comportamiento del terreno en caso de sacudidas sísmicas.

Durante el desarrollo del estudio se han mantenido frecuentes reuniones con ingenieros de ENAGAS y representantes de las empresas ofertantes para el suministro del tanque, con objeto de comentar nuestras conclusiones conforme se iban obteniendo.

Un resumen de las conclusiones preliminares del estudio se presentó en el avance de informe de fecha 26 de Abril de 1.976.

DESCRIPCION DE LOS TERRENOS

TRABAJOS REALIZADOS PARA EL RECONOCIMIENTO DE CAMPO

En principio, se había previsto perforar en el emplazamiento del tanque un sondeo en el centro hasta unos 50 metros de profundidad y cinco en la periferia, uno hasta 40

metros de profundidad y los restantes hasta 25, es decir; unos 190 metros lineales de perforación.

Durante el desarrollo del trabajo y, a la vista de los resultados que se iban obteniendo, se decidió, de acuerdo con ingenieros de ENAGAS, ampliar el número de sondeos, aunque prácticamente, se han mantenido los metros lineales de perforación previstos inicialmente.

En resumen, se ha perforado en el centro del tanque un sondeo hasta unos 46 metros de profundidad; en la periferia se han perforado cuatro de unos 25 metros y, muy próximos a uno de ellos, tres adicionales hasta unos diez metros con objeto de delimitar en planta una bolsa de fango que se había detectado; además se ha perforado entre el centro y el borde más próximo al dique de escollera un sondeo hasta 16,65 metros de profundidad. Todo lo anterior se refiere concretamente a los trabajos efectuados en el emplazamiento "A".

En los emplazamientos "B" y "C" considerados inicialmente, se han perforado en total seis sondeos hasta profundidades comprendidas entre 25 y 37 metros.

La situación de los puntos investigados se muestra en Lámina 1.

A continuación se describen únicamente las condiciones de los terrenos existentes en el emplazamiento "A". De todas formas, en el Apéndice se presentan los registros de todos los sondeos perforados.

ASPECTOS SUPERFICIALES

La planta de ENAGAS tiene una extensión de unas doce hectáreas; está ubicada en una explanada ganada al mar mediante un relleno hidráulico, contenido en los dos bordes de mar abierto por un dique de escollera de dirección NE-NO y por el nuevo contradique; entre la planta y el borde de la explanada correspondiente a la dársena interior existe una carretera y una vía de tuberías. La planta limita también con las instalaciones de TERQUIMSA.

El emplazamiento "A" está situado al Sureste de la planta en línea con los tanques de G.N.L.; actualmente existe un cubeto de 260 x 70 metros cuadrados cerrado por un dique de tierra en el lado Sureste y por muros de hormigón en los restantes, todos ellos de unos tres metros de altura.

A unos dos metros de distancia del muro de hormigón más cercano a la zona de procesos de la planta está instalada la línea de la antorcha; entre el cubeto y el dique de escollera existe una carretera de servicio.

El terreno es sensiblemente llano; superficialmente, está compuesto por una arena marrón claro con una exigua vegetación de matojos. En la zona se encuentran algunas soleas de barracones utilizados en épocas anteriores.

La cota de explanación de toda la planta es aproximadamente la +3,00 metros referida al nivel medio del mar en Alicante.

CARACTERISTICAS DEL SUBSUELO

Interpolando entre las condiciones reconocidas en los sondeos se han preparado dos cortes del terreno, secciones A-A' y B-B'; su situación en planta se muestra en Lámina 1 y se presentan en Lámina 2 y 3.

El relleno hidráulico tiene en la zona considerada una profundidad de seis a ocho metros; está compuesto básicamente por arena fina con un porcentaje de limo o arcilla inferior al 10%; su densidad es, en general, medianamente densa en los primeros dos metros, disminuyendo subyacente a floja. Realmente se encuentra una cierta dificultad para definir con precisión el espesor del relleno, ya que se trata de los mismos materiales que existían, en general, en el fondo marino y en condiciones muy similares; además, se observa también una divergencia entre las alturas de agua indicadas en los planos batimétricos existentes. En consecuencia, los espesores de relleno indicados en los cortes del terreno preparados y en los registros de los sondeos deben considerarse únicamente como orientativos.

Entre el relleno hidráulico y el terreno natural existen algunas bolsas de fango que presentan condiciones bastantes desfavorables, como la reconocida en el sondeo S-6 de unos 1,30 metros de espesor, originada probablemente por acumulaciones locales al ser vertido el relleno.

Subyacente al relleno hidráulico y hasta una profundidad que oscila entre 12 y 14 metros, se encuentra una alternancia de suelos arcillosos grises, en general, moderadamente firmes, y arenosos, flojos o medianamente densos.

Subyacente y hasta una profundidad de unos 18 o 19 metros, existe un estrato arenoso, en general, con pocos finos, flojo o medianamente denso; en él se presentan intercaladas vetas o capas arcillosas de espesor inferior a 0,50 metros. Bajo él aparece otro estrato compresible que continúa hasta unos 22 metros de profundidad; consiste en arcillas y limos grises de consistencia, en general, moderadamente firme y con abundantes vetas intercaladas de arena. A partir de los 22 metros y en toda la profundidad

reconocida se encuentran arenas de escaso contenido en finos y, en general, medianamente densas o densas.

En resumen, las condiciones más desfavorables de los suelos naturales se han reconocido en el borde más próximo al dique y en el opuesto a los tanques existentes.

El nivel freático aparece a unos 2,50 metros de profundidad.

Los registros de los sondeos perforados en los tres emplazamiento considerados y los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados se presentan en el Apéndice.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

GENERALIDADES

A continuación se presentan nuestras conclusiones y recomendaciones para la cimentación del nuevo tanque de G.N.L. en el emplazamiento denominado como "A".

Cuando se estaba redactando el presente informe se nos comunicó que el tanque se había desplazado respecto de dicho emplazamiento unos cinco metros. De todas formas, las conclusiones siguen siendo completamente válidas en todos sus aspectos.

CIMENTACION DEL TANQUE EN LAS CONDICIONES ACTUALES DEL TERRENO

Estabilidad. Desde el punto de vista de estabilidad, no existen inconvenientes para cimentar superficialmente el tanque. El coeficiente de seguridad para la estabilidad, suponiendo que la carga transmitida durante la prueba hidráulica sea de 2,50 Kg/cm², es claramente superior a dos.

Asientos durante la prueba hidráulica. Como ya se ha indicado en el apartado correspondiente a CONSIDERACIONES DE PROYECTO, la carga unitaria que el tanque transmitirá al terreno durante su explotación será de unos 2,0 Kg/cm²; durante la prueba hidráulica será un 25% superior, es decir, del orden de 2,50 Kg/cm².

Se ha realizado un análisis de los asientos totales y diferenciales que se producirán bajo el tanque durante la prueba hidráulica, en el caso de que se cimentase superficialmente en las actuales condiciones del terreno. El análisis se ha efectuado suponiendo una cimentación flexible.

En la tabla siguiente, TABLA I, se presentan los asientos totales que se cree se producirían durante la prueba hidráulica del tanque.

TABLA I					
ASIENTOS DURANTE LA PRUEBA HIDRAULICA					
SONDEO	CENTRO	BORDE			
	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7
ASIENTOS (CMS)	50-55	40-50	35-40	30-35	40-45

Se estima que el máximo asiento diferencial entre el centro y la periferia del tanque ocurriría entre el centro y las proximidades del borde opuesto al dique de escollera y podría llegar a ser hasta de unos 25 centímetros; el menor asiento diferencial ocurriría entre el centro y el borde más

próximo al dique y estaría comprendido entre unos cinco y diez centímetros.

El máximo asiento diferencial bajo las paredes del tanque sería hasta de unos 15 centímetros y ocurriría entre el borde opuesto al dique de escollera y el más alejado de los tanques actuales; igualmente entre los bordes más próximos al dique y a los tanques.

A efectos de una estimación de la deformada del fondo del tanque, en el supuesto de que fuese flexible, se puede considerar que del orden del 50% de la magnitud de los asientos diferenciales indicados bajo el fondo ocurriría entre el borde y un punto distante un cuarto del radio; el 75% de los indicados bajo las paredes se puede llegar a producir entre puntos separados un octante.

Además, existe la heterogeneidad provocada en las condiciones del subsuelo por las posibles bolsas de fango acumuladas entre el relleno hidráulico y el terreno natural; su compresibilidad puede dar lugar a que locálmente

se puedan producir asientos adicionales a los indicados de hasta unos tres a cinco centímetros que prácticamente serían diferenciales respecto de puntos muy próximos.

Los asientos indicados anteriormente se han calculado en el supuesto de que la prueba hidráulica se mantuviese con una altura de agua de 25 metros el tiempo suficiente para llegar a consolidar completamente los suelos arcillosos subyacentes; se estima que el tiempo necesario para ello sería de unas siete a nueve semanas. En el caso de que después de alcanzar dicha altura de agua se rebajase inmediatamente a 20 metros, la magnitud de los asientos que ocurriría sería algo inferior a la indicada, del orden del 10 al 15%.

Entendemos que, en cualquiera de los dos casos, la prueba de agua se prolongaría el tiempo necesario para consolidar los suelos arcillosos bajo las capas impuestas.

Asientos en explotación. Se ha realizado un análisis de los asientos que se producirían durante la explotación del

tanque después de efectuar la prueba hidráulica en las condiciones indicadas en el apartado anterior.

Se cree que los asientos bajo el centro del tanque serían de unos 8 a 10 centímetros y bajo la periferia de unos cuatro a siete. El máximo asiento diferencial ocurriría entre el centro y el borde opuesto al dique y sería de unos cinco centímetros; el máximo asiento diferencial bajo las paredes entre puntos separados un octante sería inferior a dos y entre puntos separados un cuadrante inferior a cuatro.

Comentarios. De acuerdo con lo que se ha mencionado anteriormente y como ya se indicaba en nuestro avance de informe, los asientos diferenciales que se estima ocurrirían bajo el tanque durante la prueba hidráulica, en el caso de que se cimentase superficialmente en las condiciones actuales del terreno, son claramente superiores a los admisibles para el tipo de tanque metálico en consideración.

Por ello, para cimentar el tanque superficialmente sería necesario apoyarlo sobre una losa suficientemente rígida o

mejorar las condiciones de compresibilidad del subsuelo colocando previamente una sobrecarga de tierras. Otros métodos de mejora del terreno, como vibroflotación, no son, en nuestra opinión, eficaces, dadas las características de los suelos existentes.

En el caso del tanque de hormigón, es posible que se pueda diseñar una losa de fondo del tanque para la que sean admisibles los asientos diferenciales indicados. No obstante, se cree que teniendo en cuenta las características tan delicadas de los tanques, de G.N.L., debería tenerse la completa seguridad de que el tanque se comportaría correctamente en el futuro, aunque en los asientos estimados hubiese un error respecto de los reales, digamos del 30%, y los posibles bolsones de fango pudiesen encontrarse muy irregularmente.

En las condiciones descritas, lo más conveniente, en nuestra opinión, es colocar una sobrecarga previa sobre el emplazamiento del tanque. Su objeto sería disminuir los asientos que posteriormente ocurrirían durante la prueba hidráulica, debido a la compresión de los estratos arenosos y, por otra parte, consolidar los estratos arcillosos subyacentes.

En el caso de tanque metálico, la colocación de la precarga reduciría los asientos, de forma que podría cimentarse directamente a no ser que los criterios sobre asientos admisibles fuesen todavía más estrictos que los indicados anteriormente; por otra parte, se cree que el coste de construir una losa de apoyo suficientemente rígida sería bastante más elevado que el de colocación de la sobrecarga y su tiempo de construcción debe ser relativamente similar al que es necesario mantener ésta.

En cualquier caso, el coste de una losa semirígida o el de la losa de fondo del tanque de hormigón sería sensiblemente menor una vez precargado el emplazamiento.

Por otra parte, la colocación de la precarga hace prácticamente desaparecer los riesgos debidos a las ocasionales bolsas de fango y otras posibles heterogeneidades existentes en el relleno hidráulico y no detectadas en los sondeos perforados.

MEJORA PREVIA DE LAS CONDICIONES DEL TERRENO

Generalidades. Como se ha indicado en el apartado anterior, en nuestra opinión, es conveniente colocar una sobrecarga previa de tierras en el emplazamiento del tanque.

El objeto es disminuir los asentamientos que posteriormente ocurrirían durante la prueba hidráulica del tanque debido a la compresión de los suelos arenosos y, por otra parte, consolidar los estratos arcillosos subyacentes.

Situación y Dimensiones de la Sobrecarga. La sobrecarga debe colocarse exactamente concéntrica con el emplazamiento previsto del tanque.

Aunque en nuestro avance de informe, se recomendó que el diámetro en coronación de la sobrecarga fuese de 52 metros, se decidió posteriormente, de acuerdo con ingenieros de ENAGAS, reducirlo a 50; el talud puede ser el natural con el que queden las tierras empleadas.

La sobrecarga debe transmitir al terreno una carga igual a la del tanque durante la prueba hidráulica. Suponiendo una densidad de $1,75 \text{ Tn/m}^3$ y una altura de tierras de unos 15 metros, la carga transmitida será de unas $2,63 \text{ Tn/m}^2$; de esta forma, se incluye también el peso de una plataforma de tierras para apoyo del tanque de unos 70 centímetros de altura. En el caso de que la altura de la plataforma fuese superior y no transcurriese un plazo de unos dos meses entre su terminación y la construcción del tanque, se debería mantener el menor tiempo posible durante la prueba hidráulica del tanque la altura de agua de 25 metros.

No obstante, sería interesante determinar la densidad "in situ" de las tierras de la sobrecarga con objeto de conocer con precisión la carga transmitida.

Duración de la Sobrecarga. La sobrecarga se debe mantener el tiempo suficiente para conseguir una consolidación de los estratos arcillosos como mínimo del 90%. Para ello se estima que su duración deberá ser del orden de seis a ocho semanas; el plazo máximo se ha obtenido a partir de

las condiciones reconocidas en el sondeo T-7.

No obstante, a efectos de planning de proyecto se debe tener en cuenta que el tiempo de consolidación puede ser superior, aunque se cree que no sobrepasará las once semanas.

De todas formas, la decisión sobre el momento en que puede retirarse la sobrecarga debe adoptarse en función de los resultados reales, mediante las oportunas mediciones de los asientos que se vayan produciendo. Para ello, se deben instalar sistemas de control, de acuerdo con las recomendaciones que se presentan posteriormente.

Asientos debidos a la sobrecarga. Teniendo en cuenta las dimensiones recomendadas de la sobrecarga y la carga que se estima transmitirá al terreno, se cree que los asientos que ocurrirán serán del mismo orden de los indicados anteriormente para la prueba hidráulica, en el caso de que el tanque se cimentase superficialmente sin mejorar previamente las condiciones del terreno..

En la Lámina 4 se presentan las curvas asientos-tiempo previstas bajo el centro del tanque y para las condiciones de borde más desfavorables reconocidas en el sondeo T-7.

Control del ensayo de precarga. Para el control de los asientos que se vayan produciendo durante la precarga, se cree conveniente recomendarles instalar seis placas de asientos; la situación de las placas y el tipo más adecuado se les ha comentado anteriormente.

Igualmente se les presentaron recomendaciones para su colocación y frecuencia de las lecturas que es necesario realizar.

Igualmente, sería conveniente que se determinase la densidad "in situ" de las tierras de la precarga, con objeto de conocer la magnitud de la carga real transmitida al terreno.

CIMENTACION DEL TANQUE DESPUES DE COLOCAR PREVIAMENTE LA SOBRECARGA

A continuación se presentan nuestras conclusiones para la cimentación del tanque en el supuesto de que se

hubiese precargado previamente su emplazamiento en las condiciones descritas en los apartados anteriores.

Las condiciones de estabilidad del tanque serán claramente más favorables que las indicadas para el caso de que el tanque se cimentase superficialmente en las condiciones actuales del terreno.

Se ha realizado un análisis de los asientos que se producirán bajo el tanque durante la prueba hidráulica, suponiendo una cimentación flexible. Se estima que serán del mismo orden prácticamente que los indicados anteriormente durante el período de explotación del tanque, en el caso de que no se hubiese precargado su emplazamiento y para las condiciones de prueba hidráulica indicadas en dicho apartado.

Es decir, los asientos bajo el centro serán de unos ocho a diez centímetros y bajo la periferia de unos cuatro a siete. El máximo asiento diferencial entre centro y borde será de unos cinco centímetros y ocurrirá entre el centro y el borde opuesto al dique; bajo las paredes del tanque el

máximo asiento diferencial entre puntos separados un octante será inferior a dos y entre puntos separados un cuadrante inferior a cuatro. Los asientos ocurrirán muy rápidamente con la aplicación de las cargas.

Asientos debidos a cargas cíclicas. Debido al régimen cíclico de cargas y descargas a que estará sometido el tanque durante su explotación, se producirán en el relleno algunos asientos adicionales a los indicados en el apartado anterior.

Al ser las condiciones del relleno prácticamente similares al existente en los emplazamientos de los primeros tanques G.N.L., no se ha considerado necesario realizar nuevos ensayos de compresión bajo cargas cíclicas.

La magnitud de asientos que a continuación se indica se ha estimado basándonos en los resultados de los ensayos efectuados en 1.967, pero teniendo muy en cuenta los asientos realmente ocurridos durante la vida de los tanques.

Se cree que debido al régimen de cargas cíclicas se pueden producir en el centro del tanque asientos adicionales de unos cinco centímetros y en la periferia de unos dos a tres; prácticamente los asientos indicados bajo las paredes del tanque ocurrirán uniformemente.

CIMENTACION DE LAS PAREDES DEL TANQUE

En el caso de que las paredes del tanque se cimenten independientemente del fondo, se puede adoptar como presión admisible de cimentación, una vez retirada la sobrecarga, la de $2,0 \text{ Kg/cm}^2$ a profundidad mínima de apoyo de un metro respecto de la superficie del terreno; la presión admisible indicada se puede incrementar en un 30% para las hipótesis más desfavorables de cálculo.

Como valor del módulo de balasto se puede adoptar el de 10 Kg/cm^3 , referido a una placa cuadrada de un pie de lado apoyada en la superficie del terreno.

En las condiciones anteriores, los asientos debidos al propio peso del tanque serán inferiores a dos centímetros y se producirán durante la construcción.

LICUEFACCION DEL RELLENO

En nuestra opinión, siguen siendo completamente válidas las conclusiones presentadas en nuestro informe⁺ de fecha 27 de Febrero de 1.968.

Para el análisis de licuefacción realizado se adoptó una aceleración de la gravedad del movimiento sísmico de 0,10 g y una duración de diez segundos.

En resumen, la conclusión básica de dicho informe era que para una densidad relativa del relleno hidráulico del 50% el coeficiente de seguridad contra la licuefacción es superior a tres. Dicha densidad era, como mínimo, la media que se obtuvo durante la colocación del relleno y que además se incrementará debido a la colocación de la sobrecarga.

OTRAS RECOMENDACIONES

Se deben retirar las soleras de antiguos barracones existentes en el emplazamiento del tanque; si apareciesen

⁺ Report "Analysis of Liquefaction Potential in Granular Fills, Proposed Liquid Natural Gas Plant, Barcelona, Spain, for Gas Natural, S.A.".

oquedades, antiguos pozos negros, etc., se deben sanear y rellenar con arena de características similares a la del relleno hidráulico, estableciendo unas condiciones homogéneas de compactación con las zonas próximas; si se realizase alguna excavación parcial en el emplazamiento, se debe rellenar posteriormente en las mismas condiciones indicadas.

El borde opuesto al dique en el emplazamiento denominado como "A" quedaba muy próximo al muro del cubeto, por lo que posiblemente interfiriese con la zarpa de la cimentación. No se cree que esto ocurra ya al haberlo desplazado cinco metros hacia el dique.

En nuestra opinión, el dique de escollera y el tanque de G.N.L. más próximo no serán afectados en ninguna forma, desde el punto de vista de estabilidad y asientos, por la colocación de la sobrecarga o por la instalación del nuevo tanque.

NOTA FINAL

En el caso de que, debido al tipo de tanque, sea preciso construir una losa de apoyo, les agradeceríamos que,

en su momento, nos consulten con objeto de facilitarles los valores de los parámetros (módulos de deformación, etc.) necesarios para su diseño.

Se adjuntan las siguientes láminas que con el Apéndice completan este informe.

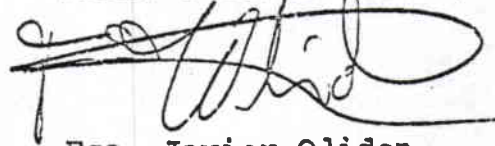
Lámina 1 - Planta de Situación

Lámina 2 - Corte del Terreno, Sección A-A'

Lámina 3 - Corte del Terreno, Sección B-B'

Lámina 4 - Curvas Asientos-Tiempo Bajo la Sobrecarga.

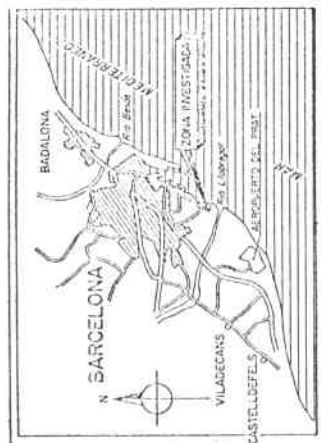
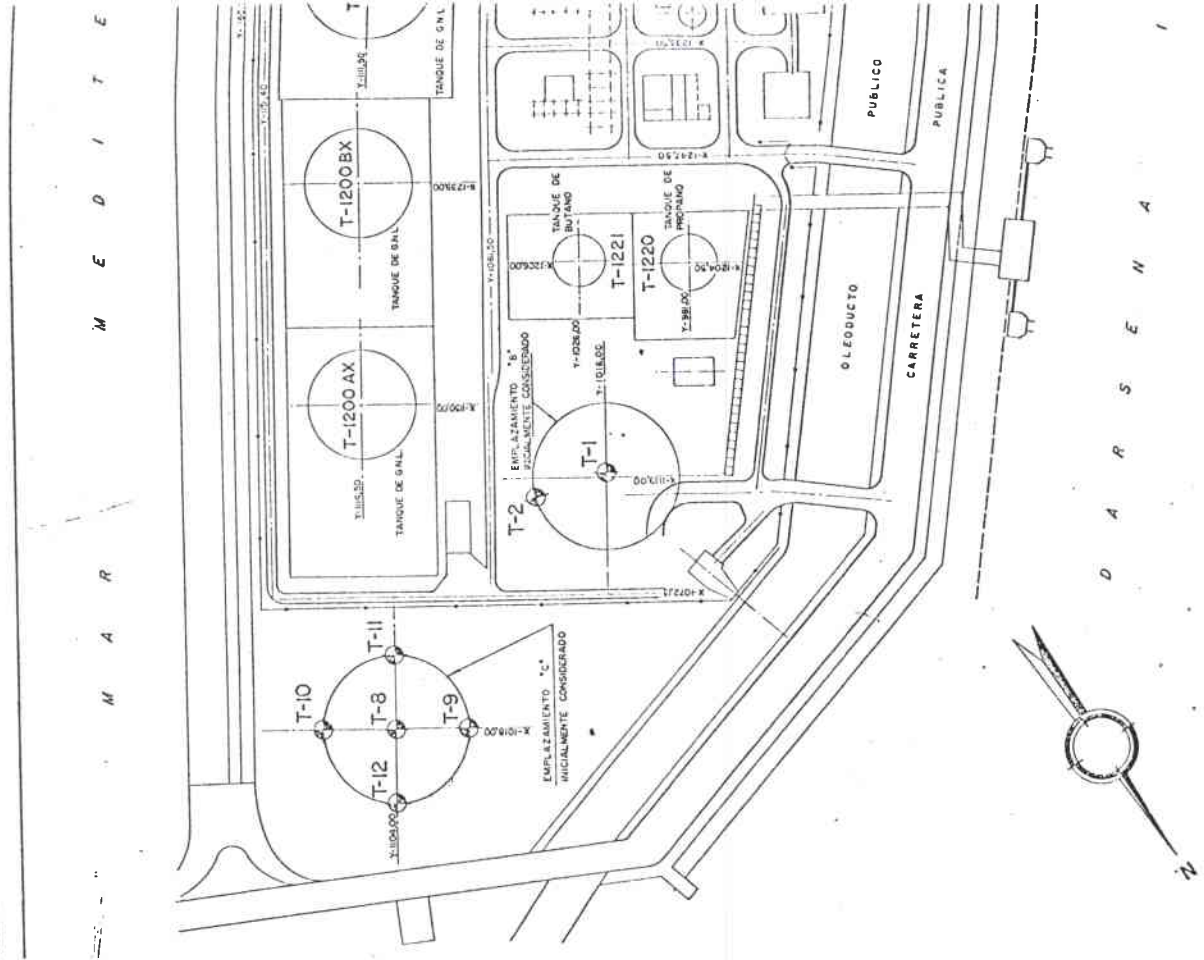
DAMES & MOORE IBERIA, S.A.



Fco. Javier Oviden



Francisco Redondo



MAPA DE SITUACION
ESCALA 1:500.000

LEYENDA:

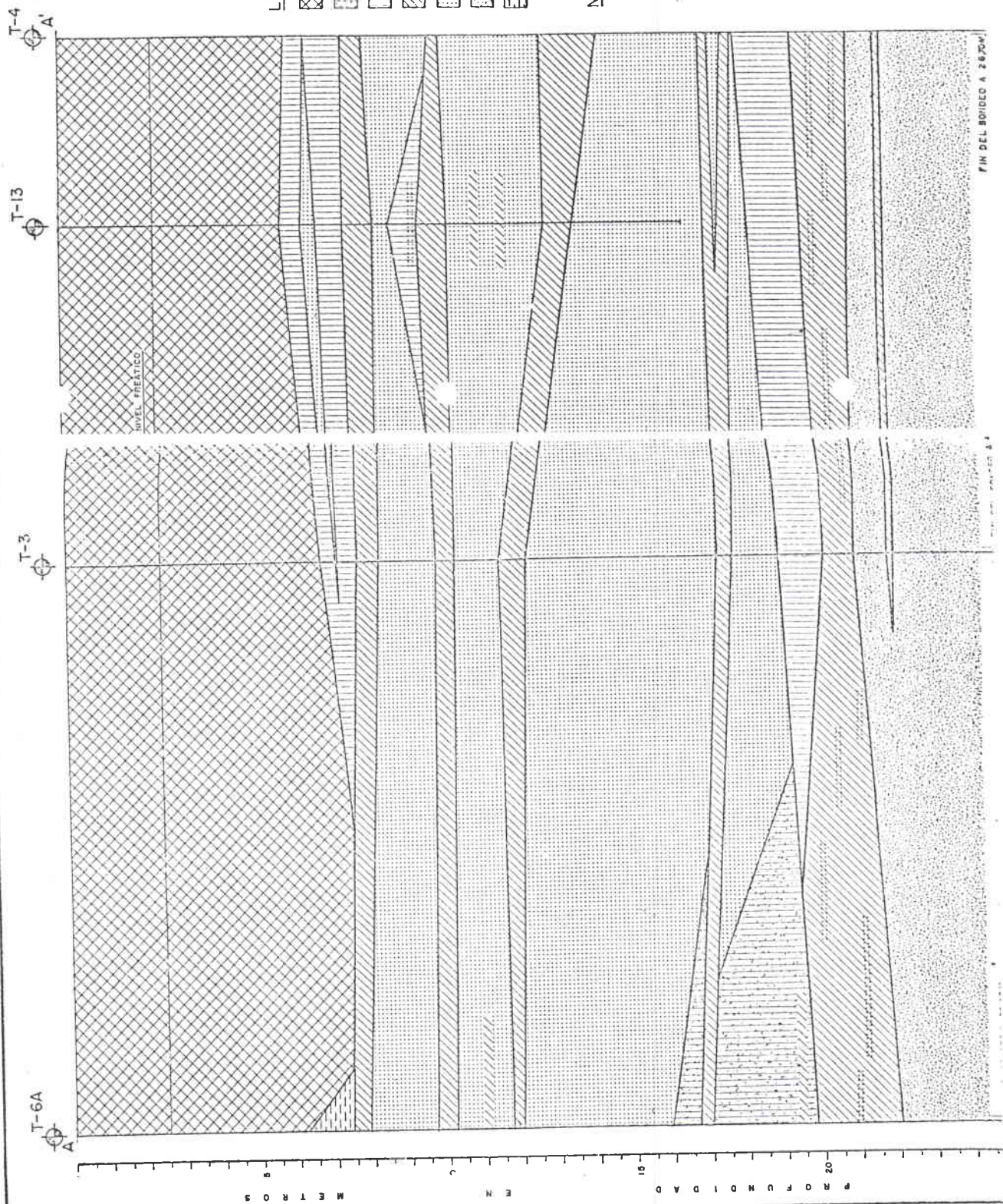
- T-3
- A-A'
- B-B'

REFERENCIA:








SONDEO REALIZADO BAJO SUPERVISION DE DAMES W MOORE IBERICA S.A PARA ESTE ESTUDIO
CORTE DEL TERRENO SE PRESENTA EN LAMINA 2
CORTE DEL TERRENO SE PRESENTA EN LAMINA 3

PLANTA DE SITUACION

ESCALA 1:2000



LEYENDA.

-  RELLENO, EN GENERAL ARENA FINA GRIS O MARRON CLARO CON INDICIOS DE LIMO, FLOJA O MEDIANAMENTE DENSA
-  ARENA GRIS, LIMOSA O CON BASTANTE LIMO, FLOJA O MEDIANAMENTE DENSA
-  LIMO GRIS O GRIS MARRON CON CONTENIDO VARIABLE DE ARENA Y ARCILLA, EN GENERAL MODERADAMENTE FIRME
-  ARCILLA LIMOSA GRIS O GRIS MARRON, BLANCA O MODERADAMENTE FIRME
-  ARENA FINA A MEDIA GRIS CON INDICIOS O ALGO DE LIMO, FLOJA O MEDIANAMENTE DENSA
-  ARENA FINA A MEDIA GRIS CON INDICIOS DE LIMO Y COCHAS, EN GENERAL MEDIANAMENTE DENSA O DENSA
-  ARCILLA LIMOSA GRIS OSCURO, MUY BLANDA

NOTA:

EL CORTE DEL TERRENO SE HA PREPARADO INTERPOLANDO LAS CONDICIONES DEL SUBSUELO RECONOCIDAS EN LOS SONDEOS, PODRIAN ENCONTRARSE VARIACIONES LOCALES

**CORTE DEL TERRENO
SECCION A-A'**

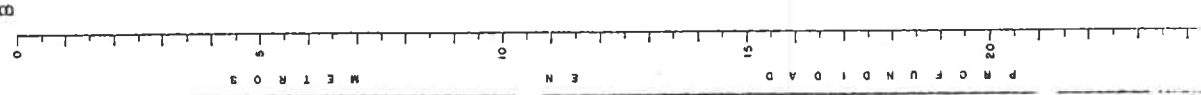
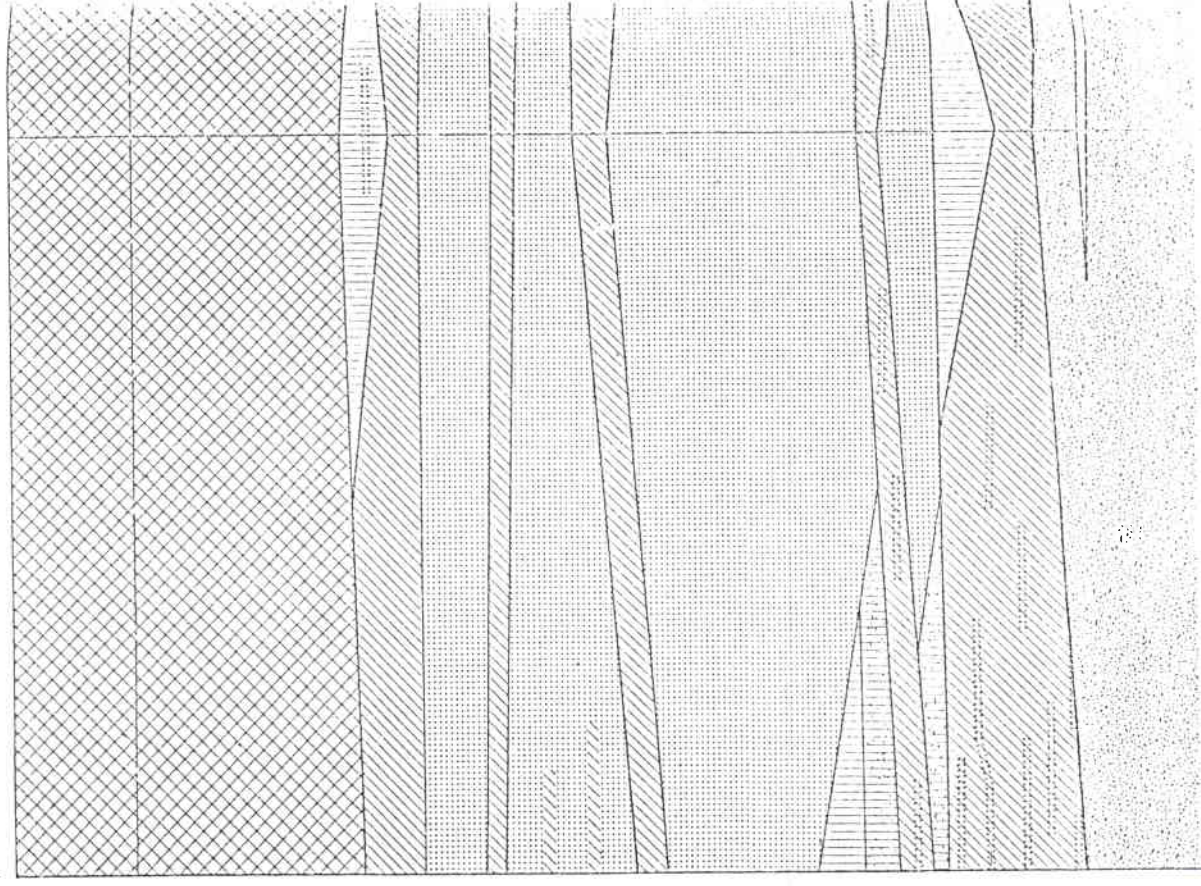
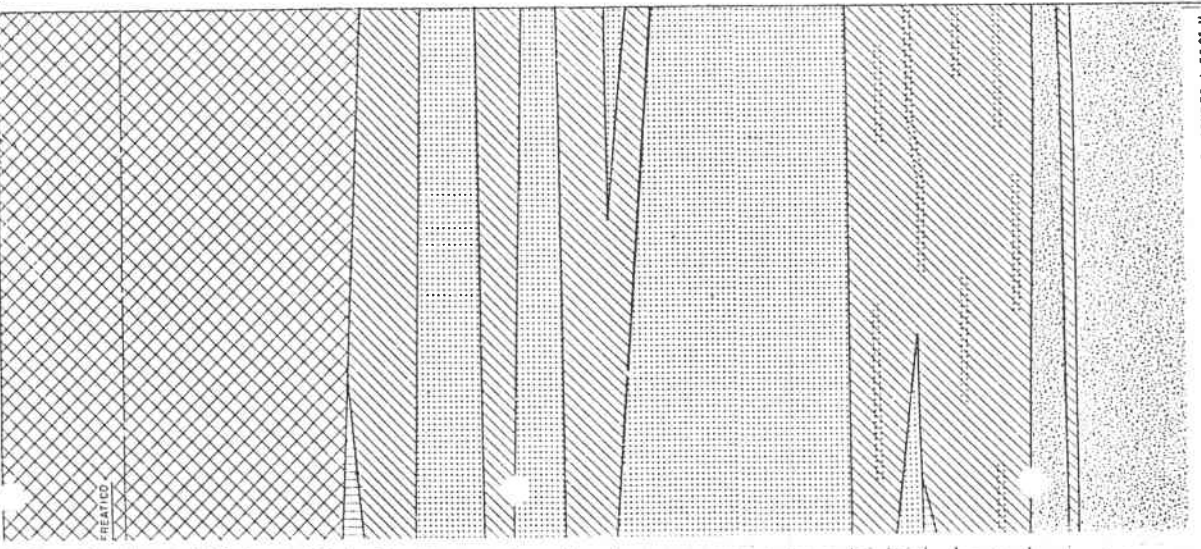
ESCALAS : H 1:200
V 1:100

FIN DEL SONDEO A 26.50M







T-7
B'

T-3
B

T-5
B



LEYENDA:

-  RELENO, EN GENERAL, ARENA FINA GRIS O MARRON CLARO, CON INDICIOS DE LIMO, FLOJA O MEDIANAMENTE DENSA
-  ARENA GRIS, LIMOSA O CON BASTANTE LIMO, FLOJA O MEDIANAMENTE DENSA
-  LIMO GRIS O GRIS MARRON CON CONTENIDO VARIABLE DE ARENA Y ARCILLA EN GENERAL MODERADAMENTE FIRME
-  ARCILLA LIMOSA GRIS O GRIS MARRON, BLANDA O MODERADAMENTE FIRME
-  ARENA FINA A MEDIA GRIS CON INDICIOS O ALGO DE LIMO, FLOJA O MEDIANAMENTE DENSA
-  ARENA FINA A MEDIA GRIS CON INDICIOS DE LIMO Y CONCHAS, EN GENERAL MEDIANAMENTE DENSA O DENSA

NOTA:

EL CORTE DEL TERRENO SE HA PREPARADO INTERPOLANDO LAS CONDICIONES DEL SUBSUELO RECONOCIENDO EN LOS SONDEOS, PODRIAN ENCONTRARSE VARIACIONES LOCALES

CORTE DEL TERRENO
SECCION B-B'

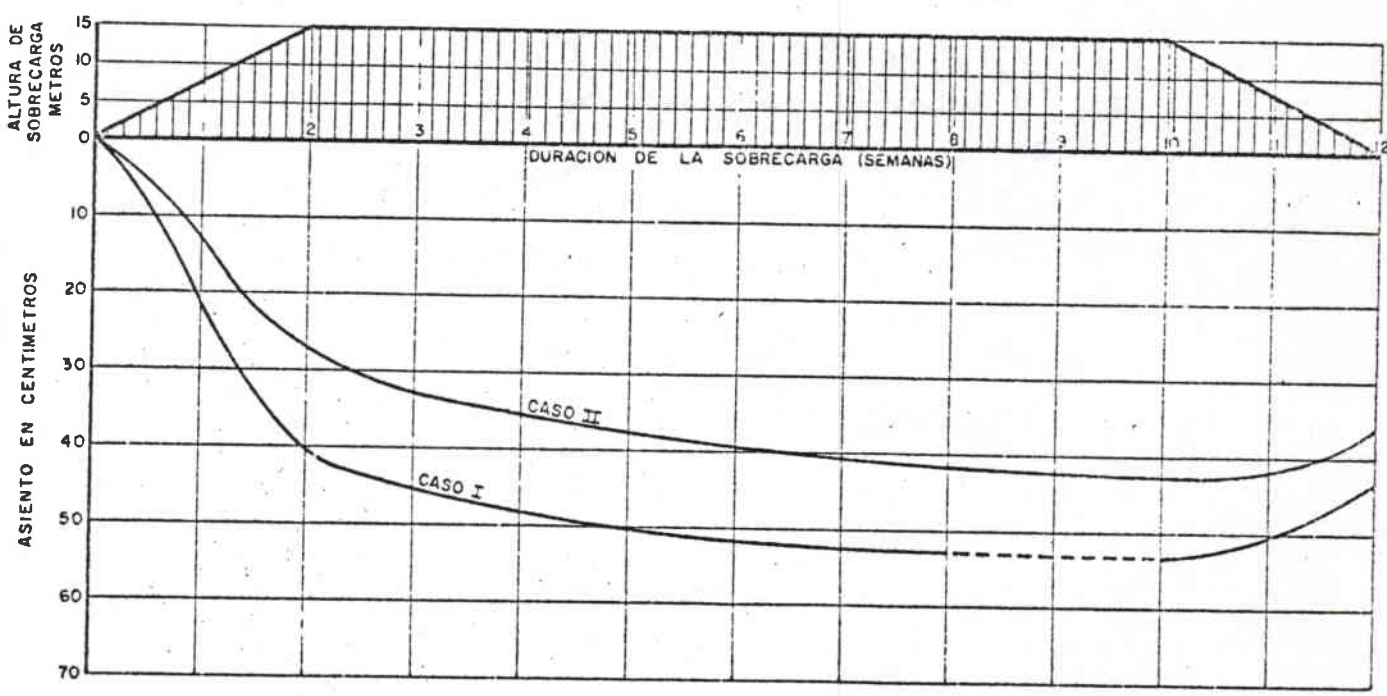
ESCALAS : H 1:200
 V 1:100

FIN DEL SONDEO A 28.05 M

FIN DEL SONDEO A 20.10 M

DAMES & MOORE (PERU) S.A

FL No. _____
 FL No. _____
 POR _____
 POR _____
 LAMINA _____



LEYENDA

- CASO I - ASIENTOS PREVISTOS EN EL CENTRO DE LA SOBRECARGA
- CASO II - ASIENTOS PREVISTOS EN EL BORDE MAS DESFAVORABLE DE LA SOBRECARGA, SEGUN LAS CONDICIONES RECONOCIDAS EN EL SONDEO T-7

COMPROBADO POR _____
 POR _____
 FECHA _____
 FECHA _____

**CURVAS DE ASIENTOS - TIEMPO
 BAJO LA SOBRECARGA**

ANEXO D: Fotografías de Construcción



Soldadura de la chapa de acero al 9 % Ni



Montaje de los pozos de bombas



Mantas de lana de vidrio sobre el techo suspendido



Montaje de la válvula del fondo del tanque (bomba de GNL)



Bomba de GNL durante su instalación en el pozo



Terminaciones de cables de potencia (bombas)



Tuberías de entrada y salida del GNL y otros productos, con sus soportes y plataforma



Apriete de pernos en el acero estructural



Retoques finales en el domo de un Tanque de GNL



Precauciones de seguridad durante la construcción de un Tanque



Ensayo no destructivo por líquidos penetrantes



Comprobando posibles fugas durante el ensayo de estanquidad



Ensayo de comprobación del asentamiento de un Tanque de GNL



Tanque de GNL durante su prueba hidráulica

ANEXO E: Caldeo debajo del Tanque

CALDEO DEBAJO DEL TANQUE

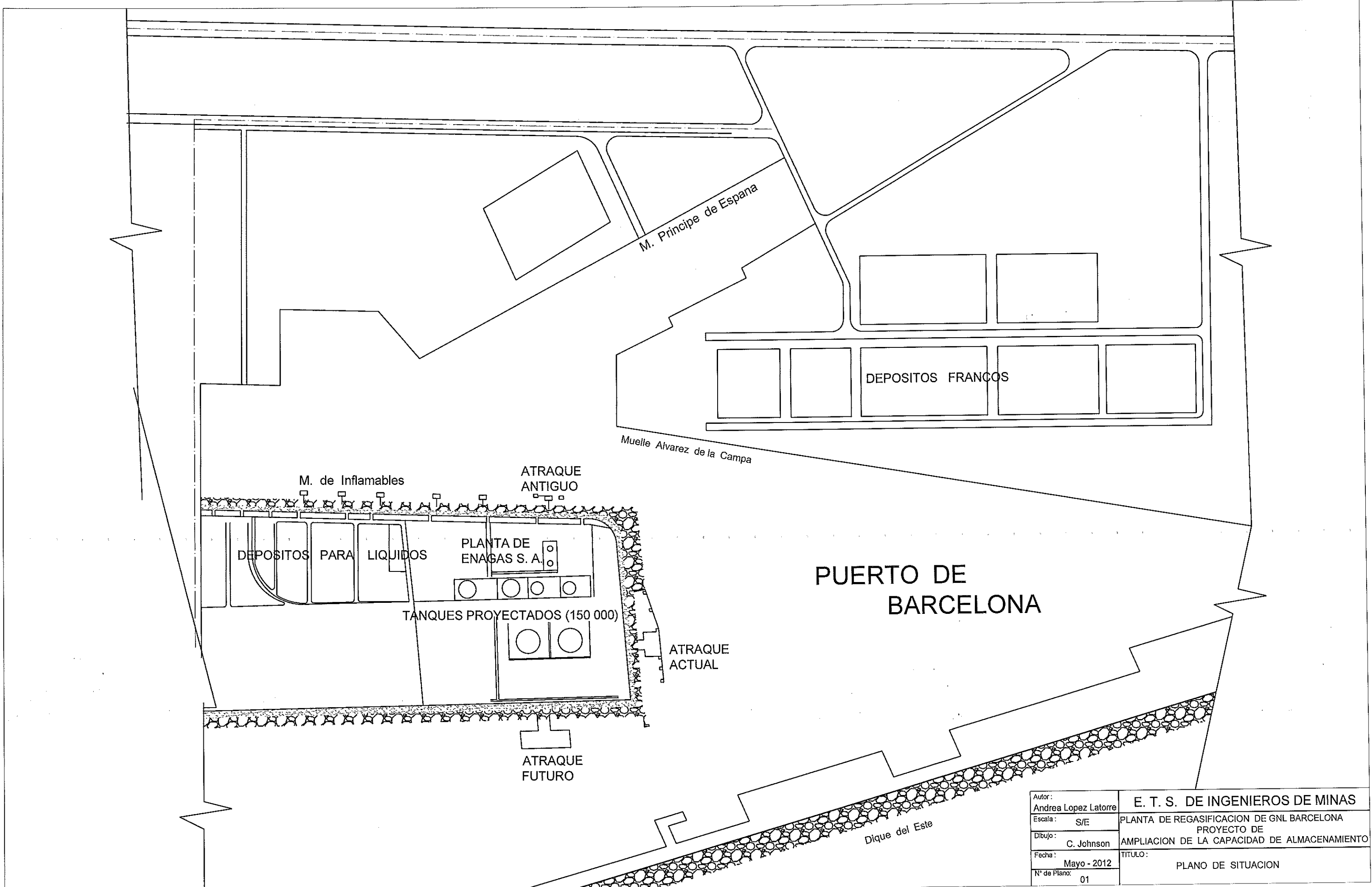


Localizacion Termocoupleres simetricamente entre los calentadores al mismo nivel en un tubo de acero inox cable de 50 m.m. Ø

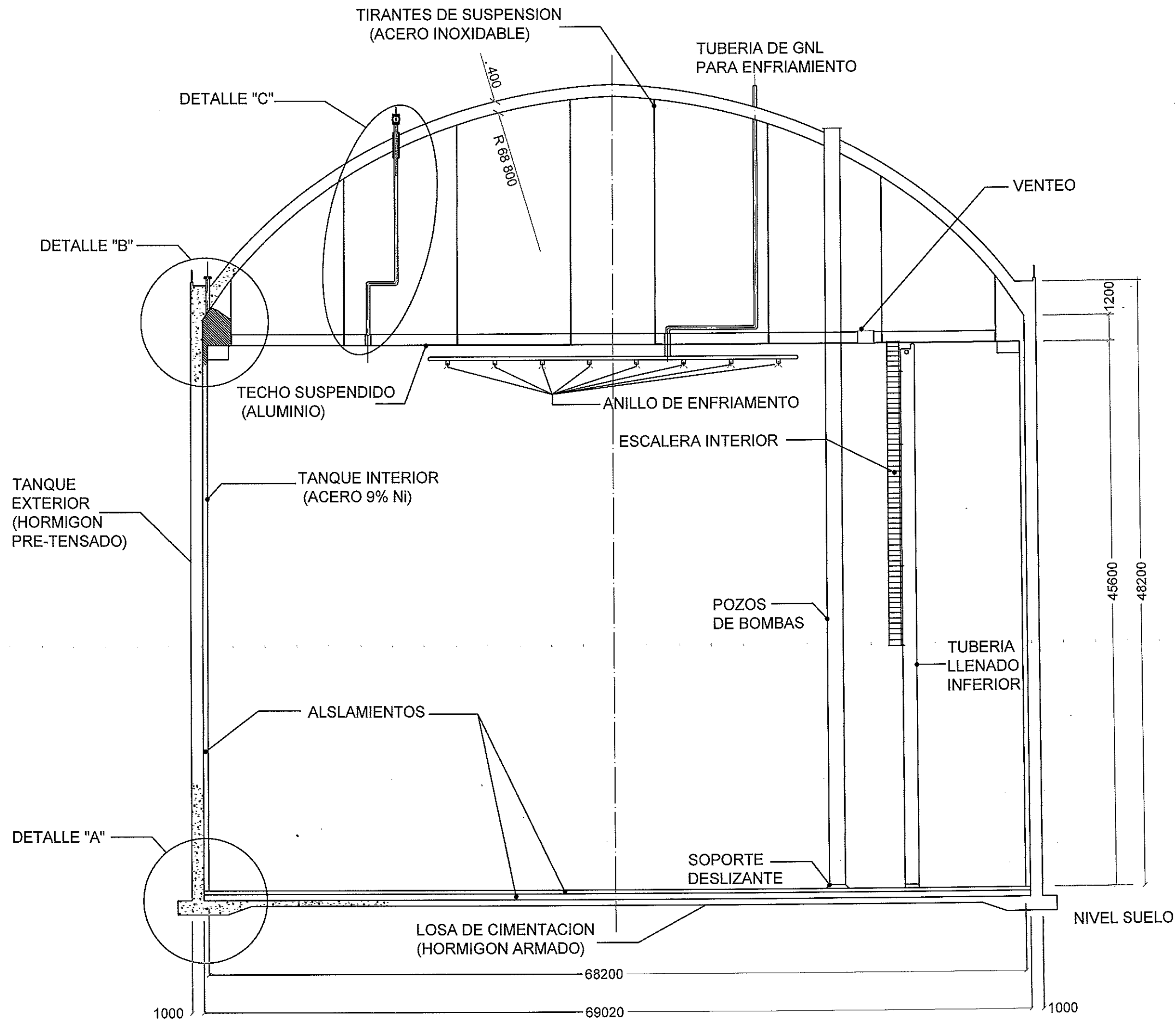
Cables de caldeo 50 Watts/m. lineal en conductos de acero inoxidable de 25 m.m. Ø

**TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GNL PARA LA AMPLIACIÓN DE LA
PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE BARCELONA**

Documento 5: PLANOS



Autor: Andrea Lopez Latorre	E. T. S. DE INGENIEROS DE MINAS
Escala: S/E	PLANTA DE REGASIFICACION DE GNL BARCELONA PROYECTO DE AMPLIACION DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO
Dibujo: C. Johnson	TITULO: PLANO DE SITUACION
Fecha: Mayo - 2012	
Nº de Plano: 01	

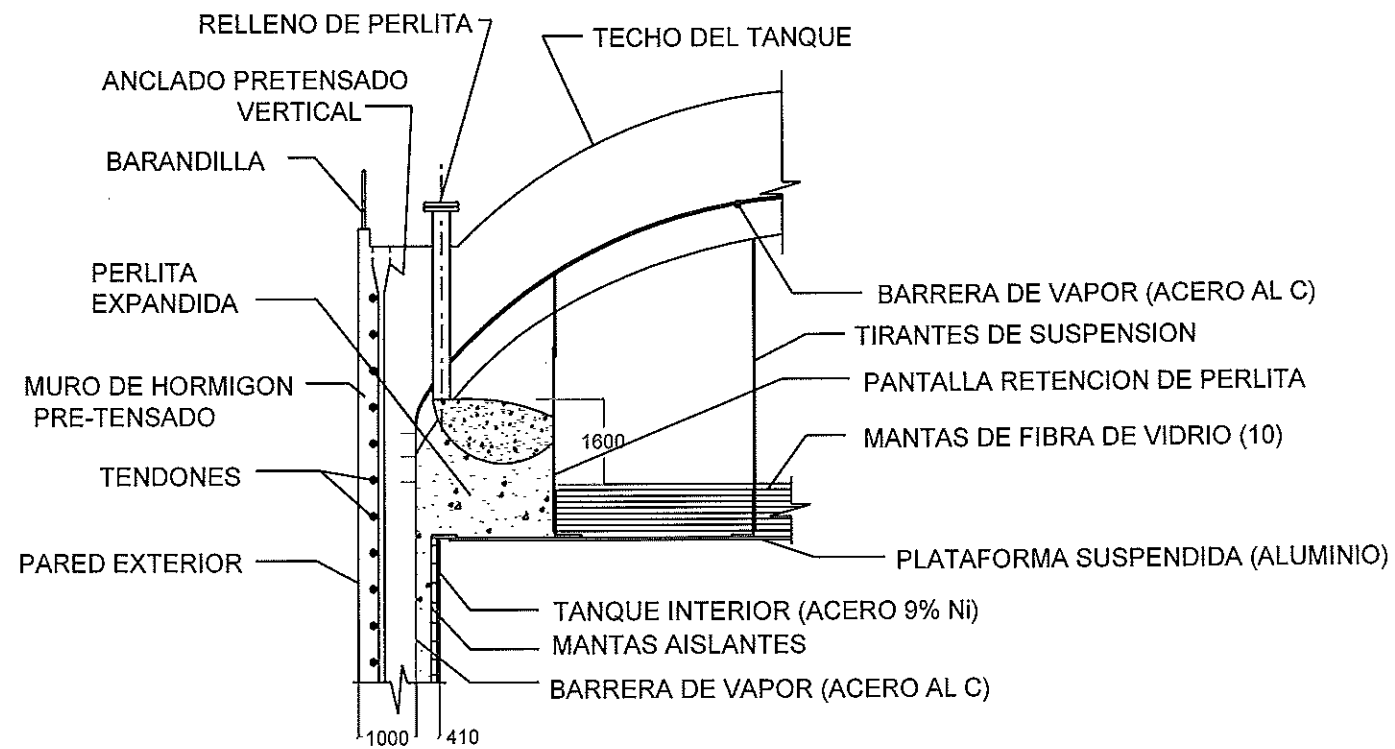


NOTAS :-

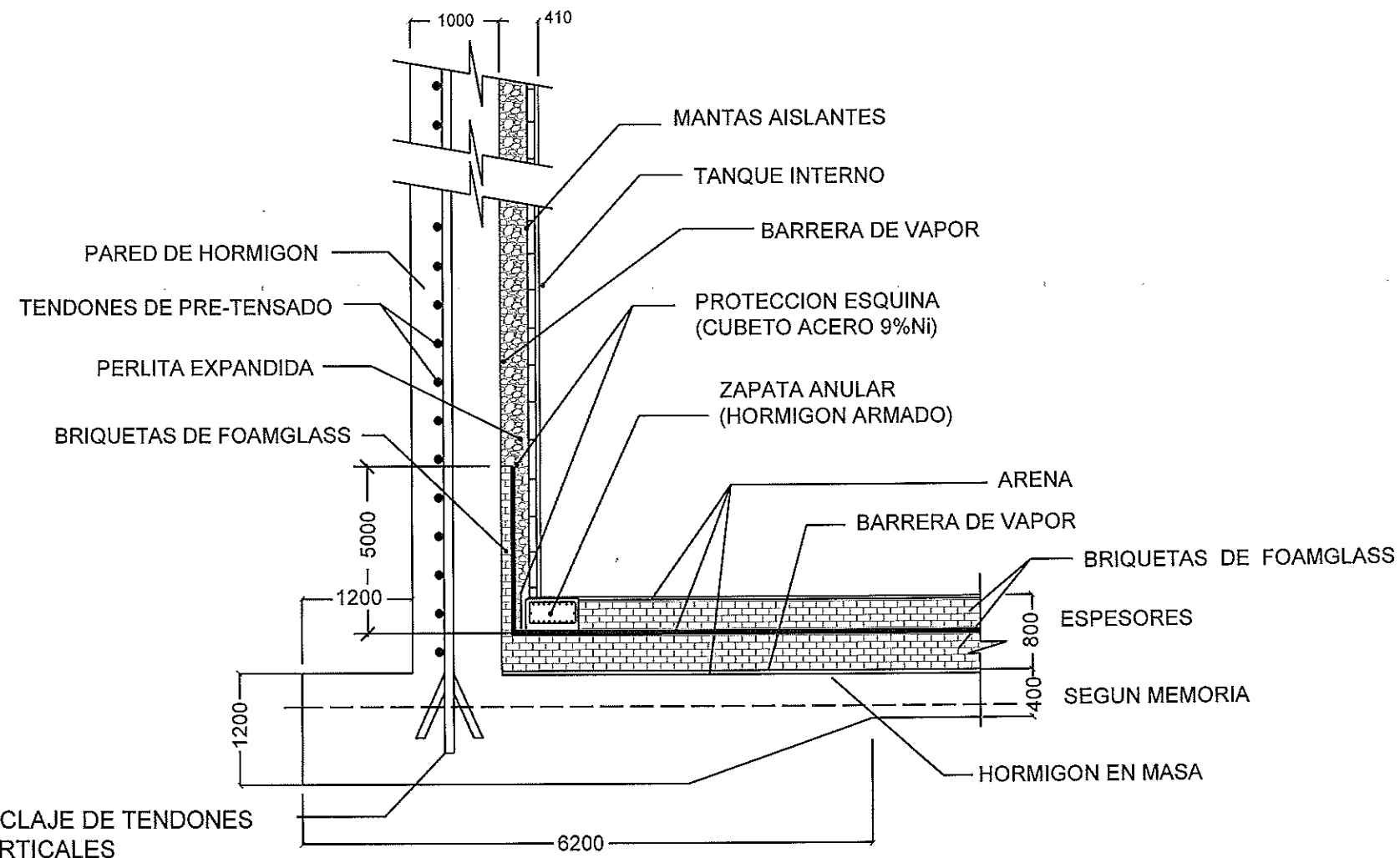
1. DIMENSIONES EN MM
2. BOMBAS CRIOGENICAS Y POZOS: 4
3. ESPESOR CAPA DE PERLITA ES EL MINIMO ESPECIFICADO
4. ESTE PLANO SE DEBE LEER JUNTO CON EL DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION

ALZADO

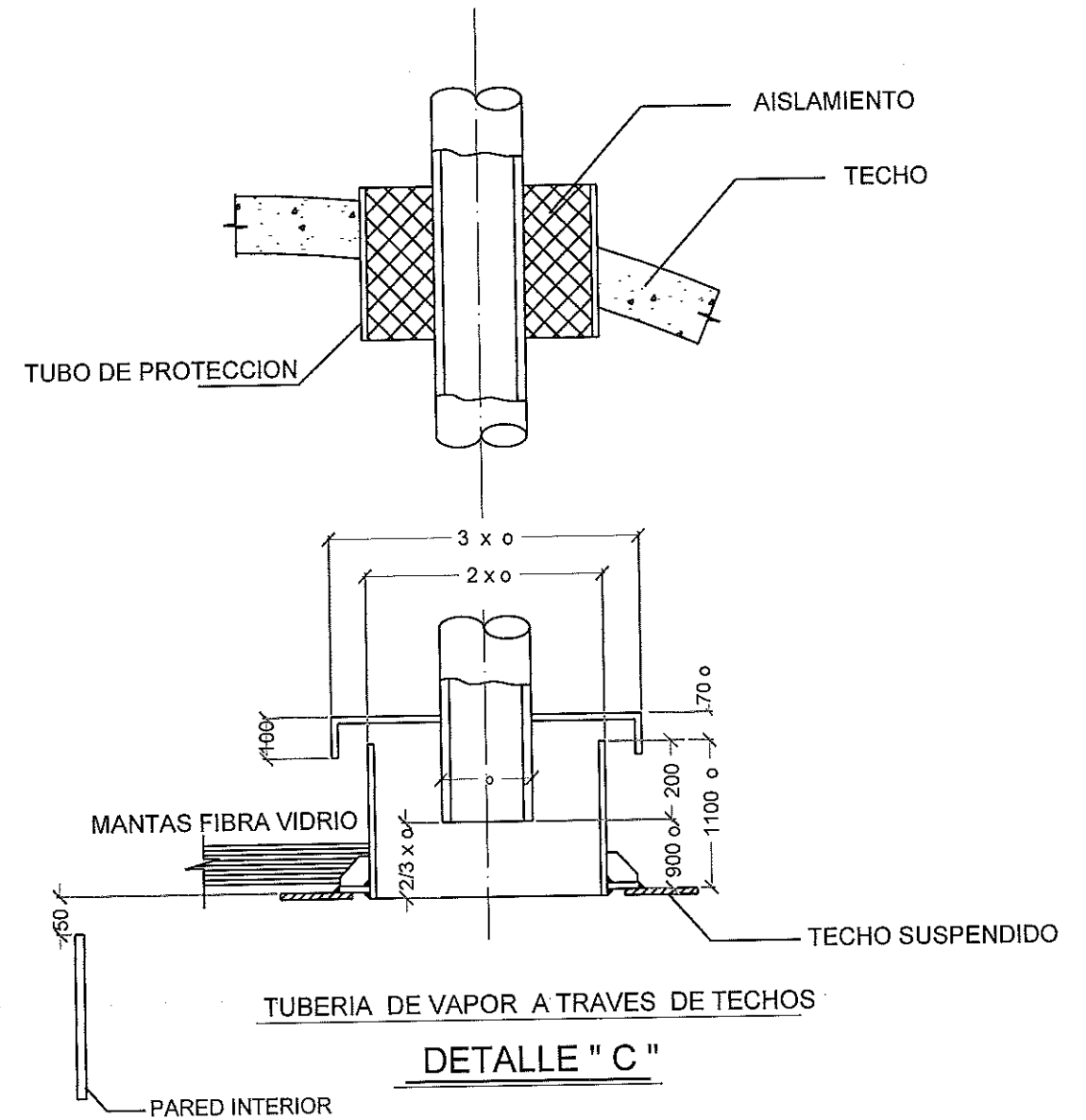
Autor: Andrea Lopez Latorre	E. T. S. DE INGENIEROS DE MINAS
Escala: S/E	PLANTA DE REGASIFICACION DE GNL BARCELONA PROYECTO DE
Dibujo: C. Johnson	AMPLIACION DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO
Fecha: Mayo - 2012	TITULO:
Nº de Plano: 02	PLANO GENERAL DEL TANQUE



DETALLE "B"

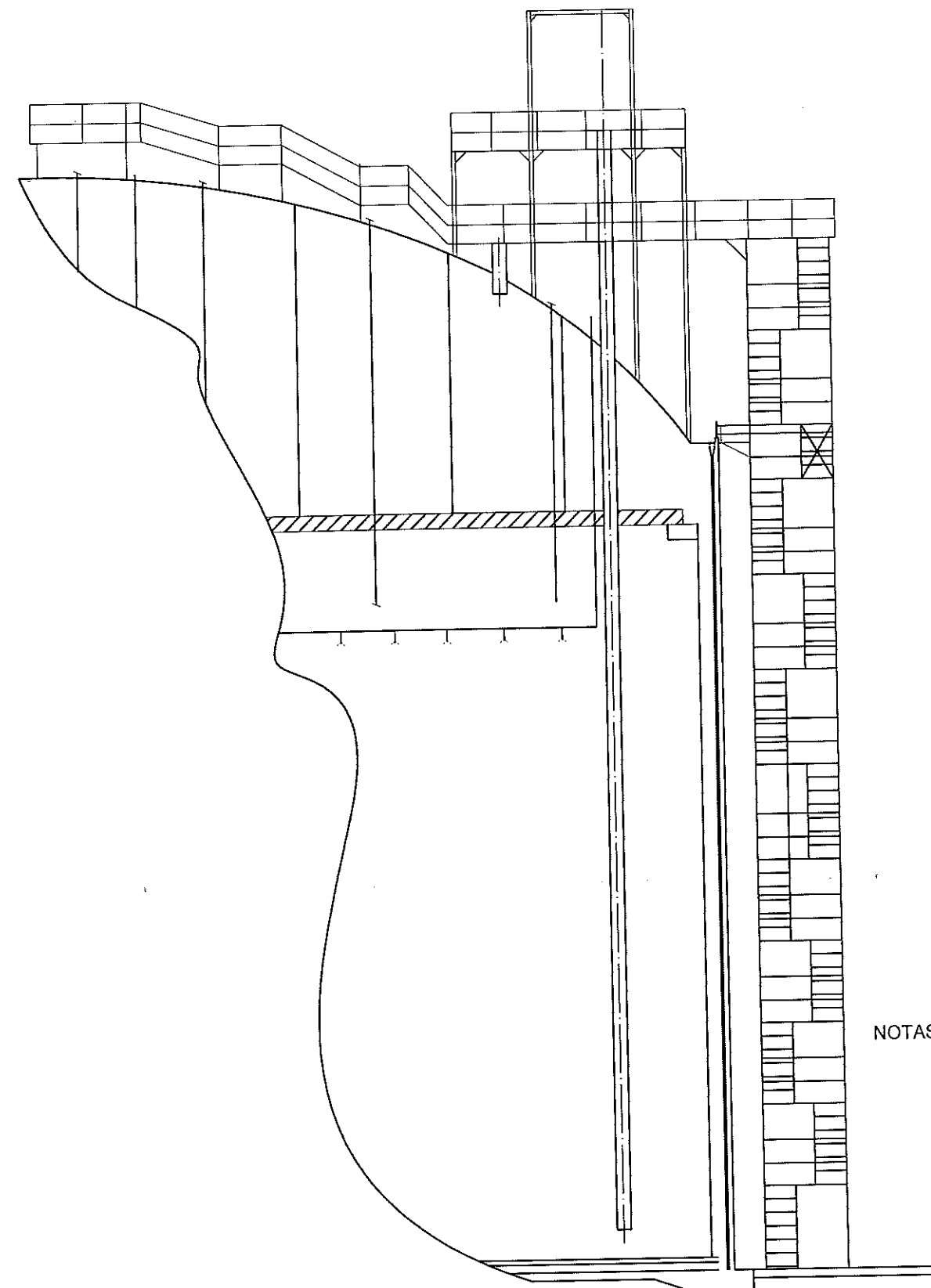
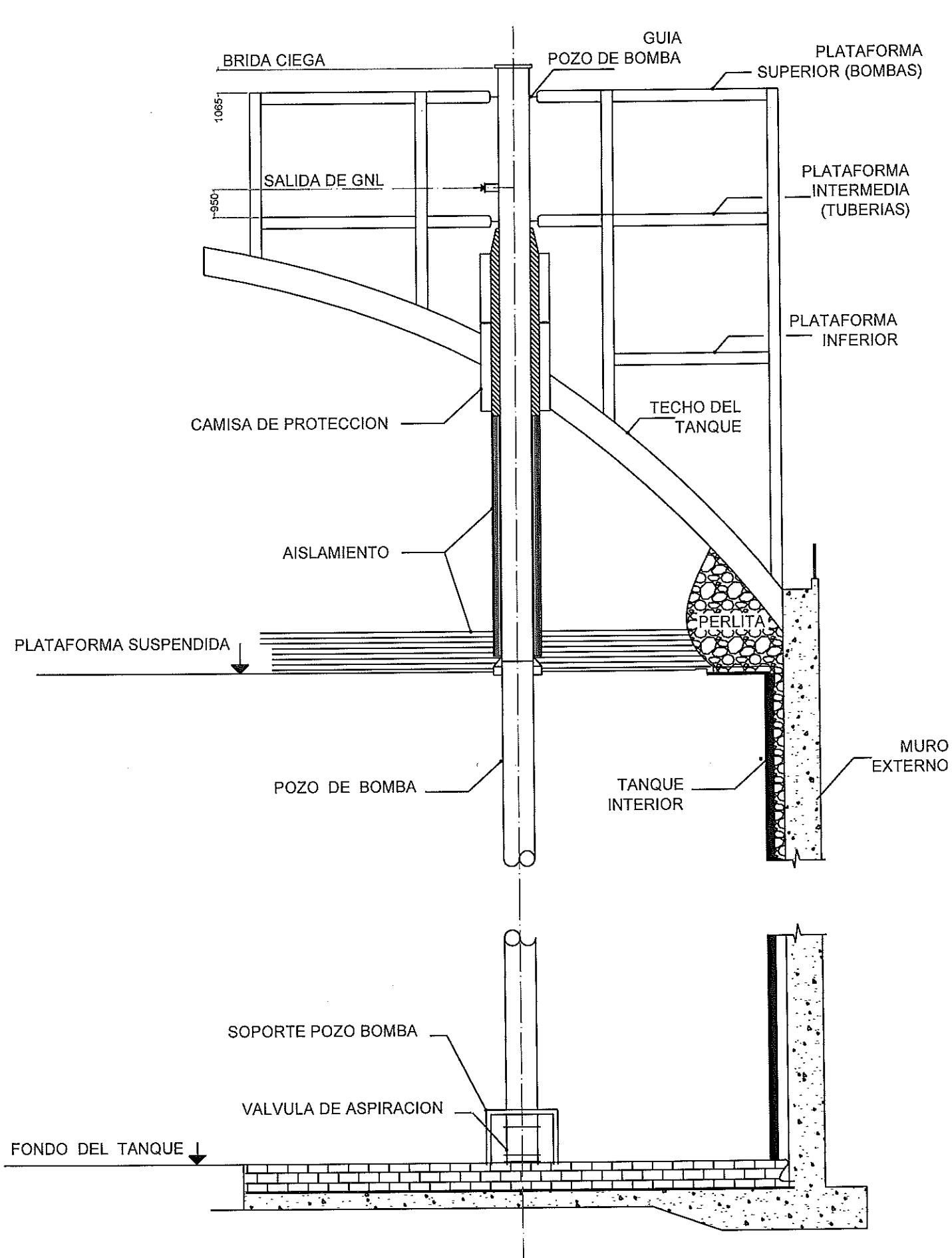


DETALLE "A"



DETALLE "C"

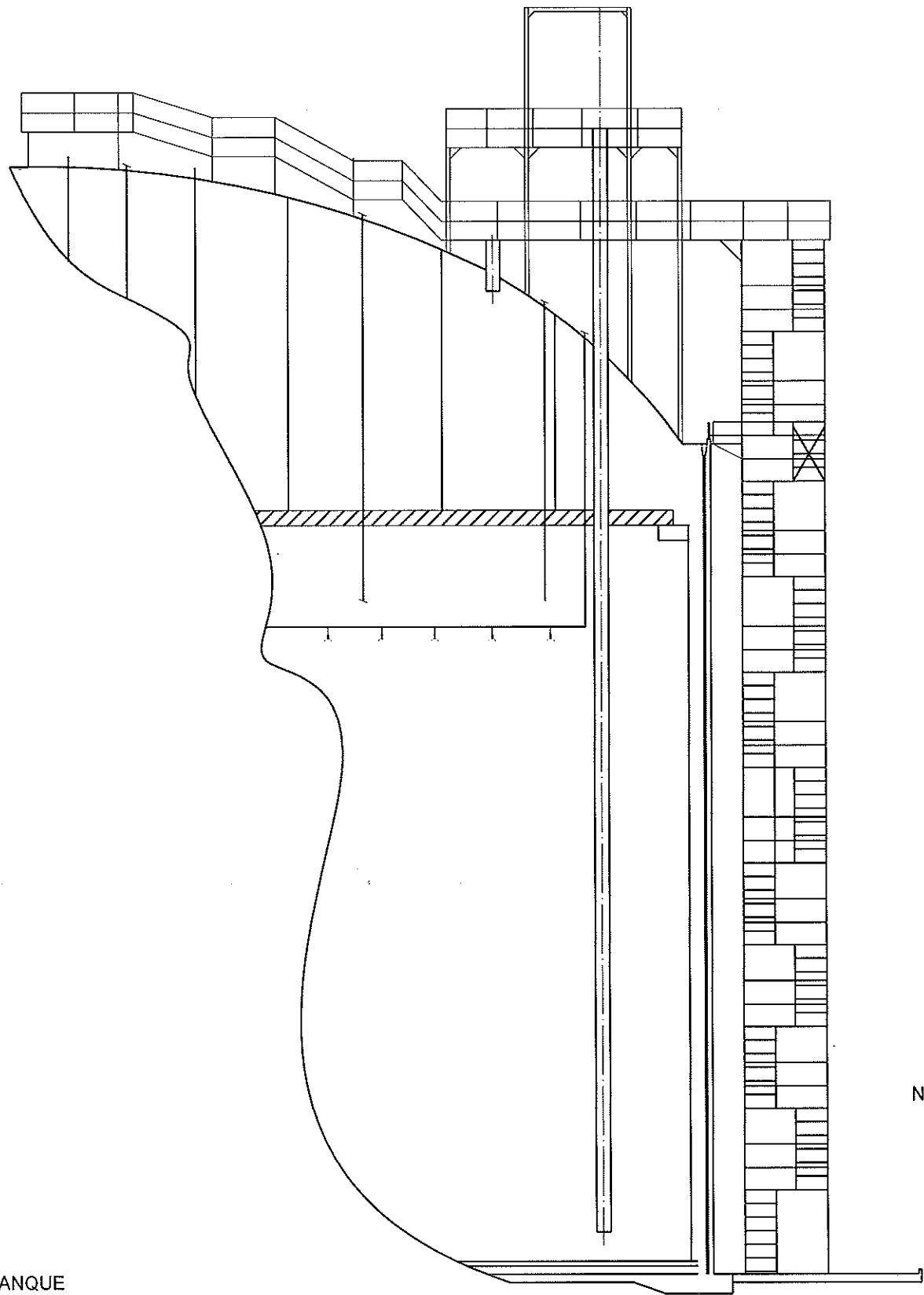
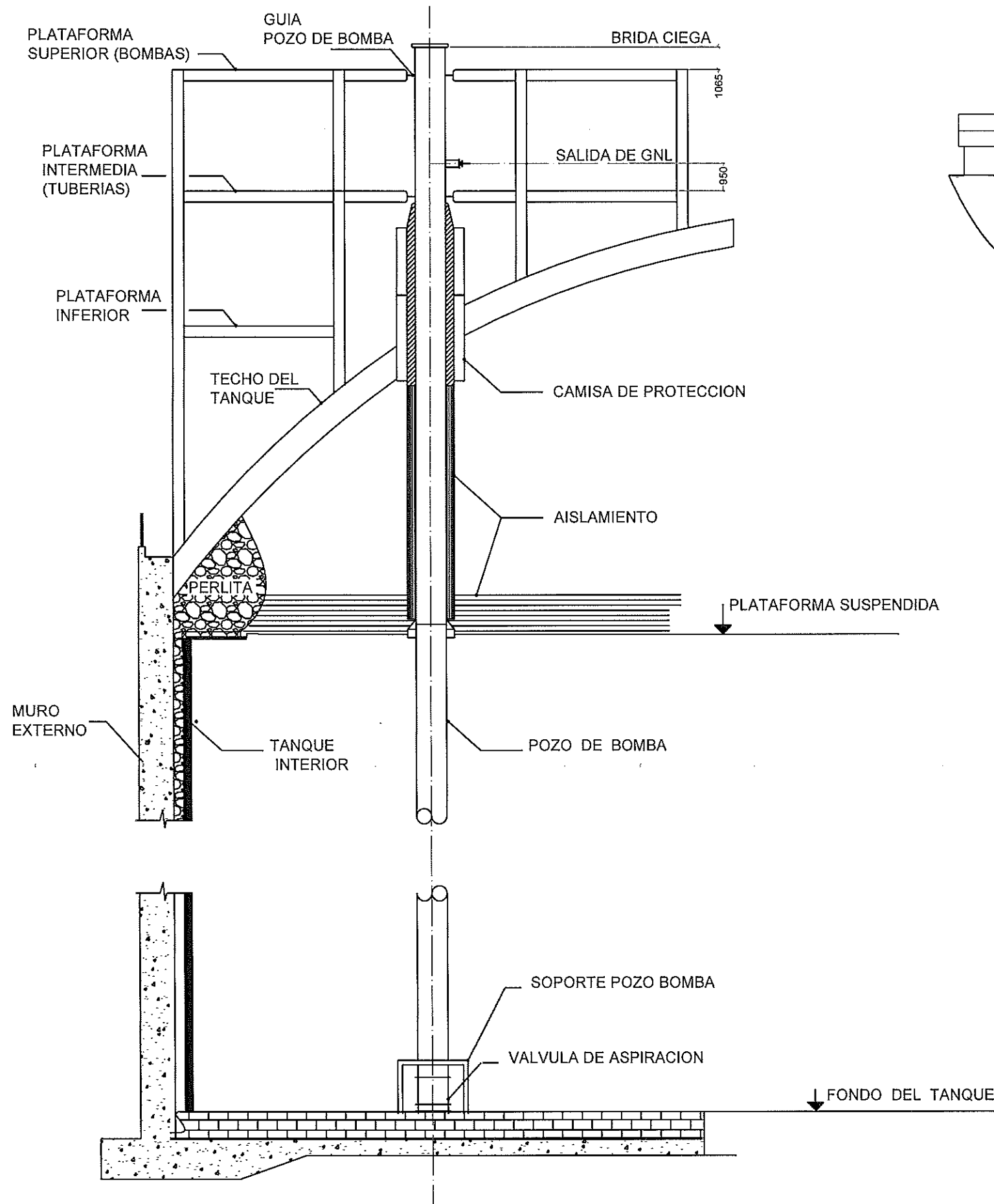
Autor:	Andrea Lopez Latorre	E. T. S. DE INGENIEROS DE MINAS
Escala:	S/E	
Dibujo:	C. JOHNSON	PLANTA DE REGASIFICACION DE GNL; BARCELONA PROYECTO DE AMPLIACION DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO
Fecha:	Mayo - 2012	TITULO:
Nº de Plano:	03	DETALLES :- "A", "B", "C"



NOTAS :

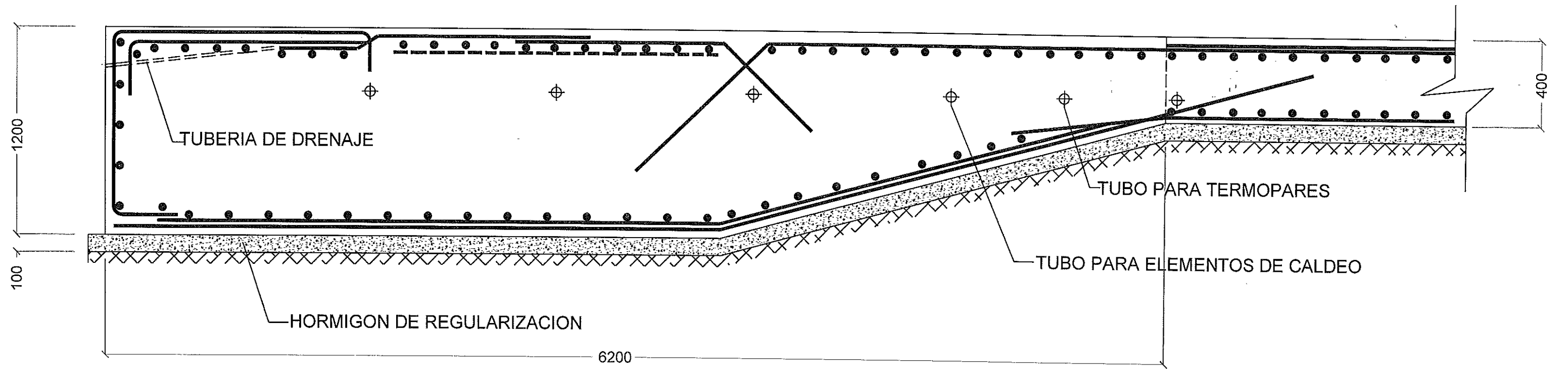
1. Este dibujo es esquemático
2. El dibujo representa una de las 4 bombas a instalar y estructuras típicas.

Autor: Andrea Lopez Latorre	E. T. S. DE INGENIEROS DE MINAS
Escala: S/E	PLANTA DE REGASIFICACION DE GNL BARCELONA
Dibujo: C. Johnson	PROYECTO DE
Fecha: Mayo - 2012	AMPLIACION DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO
Nº de Plano: 04	TITULO: DETALLE: POZO DE BOMBA Y ESTRUCTURAS



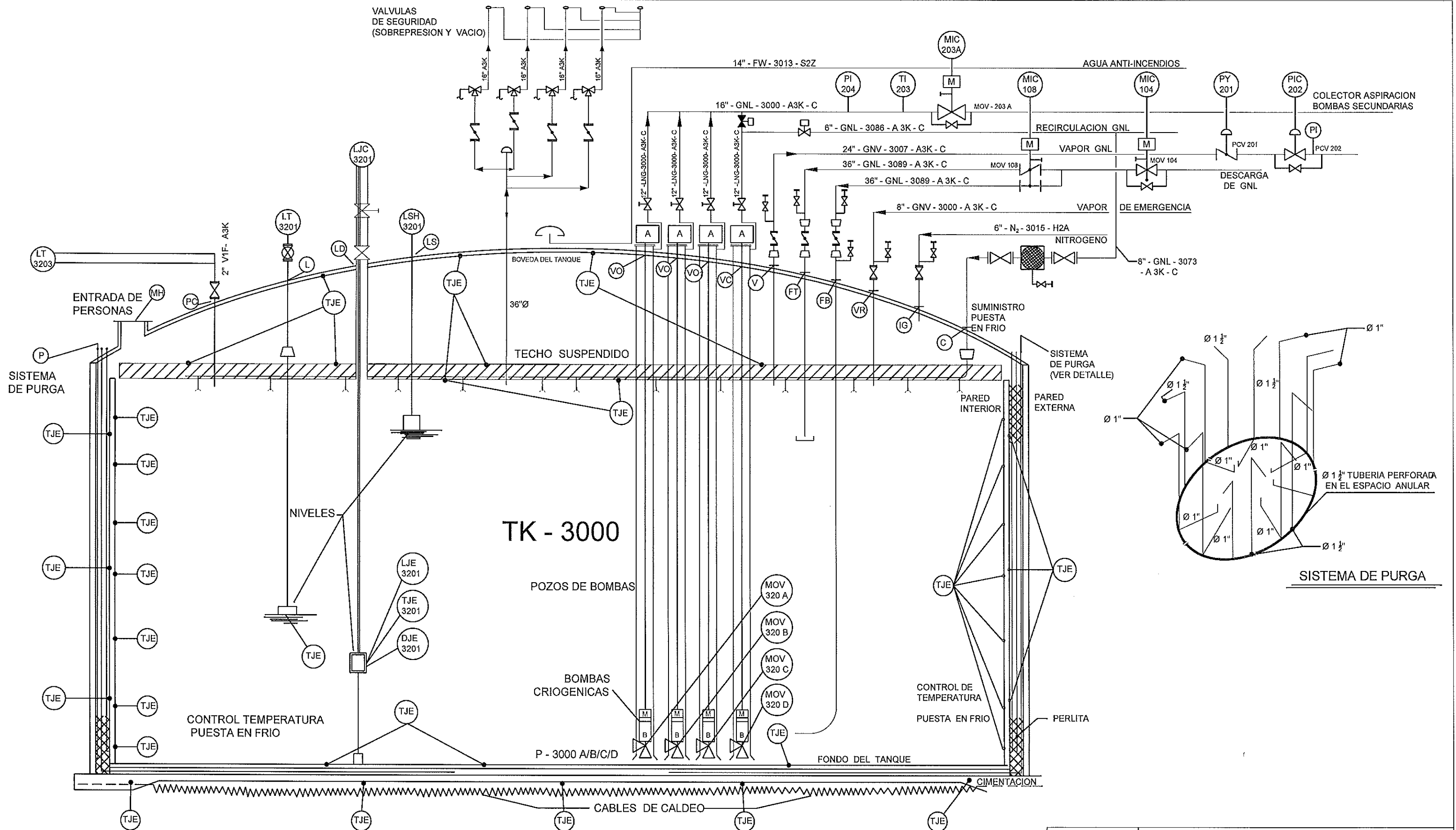
- NOTAS :
1. Este dibujo es esquemático
 2. El dibujo representa una de las 4 bombas a instalar y estructuras típicas.

Autor:	Andrea Lopez Latorre	E. T. S. DE INGENIEROS DE MINAS
Escala:	S/E	PLANTA DE REGASIFICACION DE GNL BARCELONA
Dibujo:	C. Johnson	PROYECTO DE AMPLIACION DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO
Fecha:	Mayo - 2012	TITULO: DETALLE: POZO DE BOMBA Y ESTRUCTURAS
Nº de Plano:	04	



NOTAS :-
1. DIMENSIONES EN MM

Autor: Andrea Lopez Lalorre	E. T. S. DE INGENIEROS DE MINAS
Escala: S/E	PLANTA DE REGASIFICACION DE GNL; BARCELONA
Dibujo: C. JOHNSON	PROYECTO DE AMPLIACION DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENT
Fecha: Mayo - 2012	TITULO:
Nº de Plano: 05	LOSA DE CIMENTACION



Autor:	Andrea Lopez Latorre	E. T. S. DE INGENIEROS DE MINAS PLANTA DE REGASIFICACION DE GNL; BARCELONA PROYECTO DE AMPLIACION DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO TITULO : PLANO DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION
Dibujo:	C. Johnson	
Escala:	S/E	
Fecha:	Mayo - 2012	
Nº de Plano:	06	