



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

Grado en Ingeniería Eléctrica

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

TRABAJO FIN DE GRADO

TFG. Nº: **770G02A75**

TÍTULO: **PLATA DE REGASIFICACIÓN OFFSHORE DE GNL**

AUTOR: **JUAN SEBASTIAN REY PIÑON**

TUTOR: **JULIO ANEIROS LORENZO**

FECHA: **JUNIO 2014**

Fdo.: EL AUTOR

Fdo.: EL TUTOR

TÍTULO: **PLANTA DE REGASIFICIÓN OFFSHORE DE GNL**

INDICE

PETICIONARIO: **ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA**

AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N

15405 - FERROL

FECHA: **JUNIO DE 2014**

AUTOR: **EL ALUMNO**

Fdo.: **JUAN SEBASTIAN REY PIÑÓN**

DOCUMENTACIÓN

- I. MEMORIA**
- II. SELECCIÓN DE EQUIPOS**
- III. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONOMICA**
- IV. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**
- V. ANALISIS MEDIOAMBIENTAL**
- VI. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS**
 - i. TUBERÍAS
- VII. PLIEGOS DE CONDICIONES**
 - i. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES
 - ii. PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES
- VIII. PRESUPUESTO**
- IX. ANEXOS**
 - i. ANEXO 1- ASIGNACIÓN TRABAJO FIN DE GRADO
 - ii. ANEXO 2- PLANOS
 - iii. ANEXO 3- DOCUMENTACIÓN VARIA

TÍTULO: **PLANTA DE REGASIFICIÓN OFFSHORE DE GNL**

MEMORIA

PETICIONARIO: **ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA**

AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N

15405 - FERROL

FECHA: **JUNIO DE 2014**

AUTOR: **EL ALUMNO**

Fdo.: **JUAN SEBASTIAN REY PIÑÓN**

ÍNDICE

1	OBJETO	1
2	ALCANCE.....	2
3	ANTECEDENTES.....	3
	3.1 <i>El Gas Natural Licuado (GNL).....</i>	3
	3.1.1 Densidad y temperatura de ebullición.....	4
	3.1.2 Evaporación del GNL	5
	3.2 <i>El entorno energético y el mercado del gas natural.....</i>	6
	3.2.1 El gas natural en la demanda internacional de energía	8
	3.2.2 Consumo mundial de gas natural en el año 2012	11
	3.2.3 Reservas mundiales de gas natural.....	12
	3.2.4 Principales exportadores e importadores de GNL.....	14
	3.2.5 Demanda mundial de gas natural, 2001-2015	15
	3.2.6 El gas natural en España	17
	3.2.7 Infraestructuras para el gas natural en España.....	22
	3.2.8 El sector energético en el Archipiélago de las Islas Canarias.....	24
	3.3 <i>El estado del arte de la tecnología offshore de GNL.....</i>	26
4	NORMAS Y REFERENCIAS.....	29
	4.1 <i>Específicas de construcción.....</i>	29
	4.2 <i>Específicas de electricidad.....</i>	31
	4.3 <i>Específicas de seguridad y salud.....</i>	32
	4.4 <i>Específicas de aguas.....</i>	34
	4.5 <i>Específicas de medio ambiente.....</i>	35

4.6	<i>NORMAS Y ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO PARA EL HORMIGÓN</i>	35
4.7	<i>CODIGOS DE DISEÑO</i>	37
4.8	<i>Programas de cálculo</i>	37
4.9	<i>Otras referencias</i>	37
5	REQUISITOS DEL DISEÑO	39
5.1	<i>Emplazamiento</i>	39
5.2	<i>Estudio de profundidad y distancia a costa</i>	40
5.3	<i>Condiciones ambientales</i>	42
5.3.1	Estudio de oleaje.....	42
5.3.2	Características del viento.....	50
5.3.3	Características de las corrientes.....	52
5.3.4	Composición del fondo marino.....	53
5.4	<i>Orientación de la plataforma</i>	53
5.5	<i>Red de gaseoductos</i>	54
5.6	<i>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</i>	55
5.6.1	Descarga/Carga de buques.....	55
5.6.2	Sección de almacenamiento de GNL.....	56
5.6.3	Etapas de bombeo primaria.....	57
5.6.4	Compresores de BOG.....	58
5.6.5	Sistema de relicuación de vapor.....	58
5.6.6	Etapas de bombeo secundario.....	59
5.6.7	Bombas de agua de mar.....	59
5.6.8	Sistema de vaporización.....	60
5.7	<i>SUMINISTRO ELÉCTRICO DE PLANTA</i>	61
5.8	<i>SISTEMA DE CONTROL</i>	62
5.8.1	Parámetros de control.....	62

5.8.2	Lazos de control.....	64
5.8.3	Lazo de control 101.....	64
5.8.4	Lazos de control 211 y 221.....	65
5.8.5	Lazos de control 212 y 222.....	65
5.8.6	Lazo de control 301.....	66
5.8.7	Lazo de control 304.....	66
5.8.8	Lazo de control 401.....	66
5.8.9	Lazo de control 402.....	67
5.8.10	Lazos de control 403, 404, 405 y 406.....	67
5.8.11	Lazos de control 407 y 410.....	68
5.8.12	Lazos de control 411 y 412.....	68
5.8.13	Lazo de control 413.....	69

1 OBJETO

El objeto de este trabajo es el diseño de una planta *offshore* de recepción, almacenamiento y regasificación de GNL (gas natural licuado). La plataforma tendrá una capacidad de almacenamiento de 300.000 m³ de GNL, y una capacidad de regasificación de 400.000 Nm³/h, y capacidad pico de 600.000 Nm³/h de gas natural.

2 ALCANCE

El alcance de este trabajo es del de definir la características técnicas mínimas para la construcción de una planta offshore de recepción, almacenamiento y regasificación de GNL. Queda fuera del alcance el estudio de la tubería de gasoducto que conectará la plataforma a la isla. El trabajo no entra en el detalle del diseño del sistema de control o el cálculo de estructura y método constructivo ya que esto lo haría tedioso, complicado e inalcanzable dada la complejidad de la tecnología utilizada.

3 ANTECEDENTES

El gas natural, desde el punto de vista de su composición, está formado principalmente por metano en cantidades que oscilan entre el 75% y el 95% del volumen total de la mezcla, y por otros compuestos como N₂, CO₂, H₂S, helio, mercaptanos e hidrocarburos más pesados (propano, butano,...). Dicha composición varía en gran medida en función del yacimiento del que se extrae.

El gas natural está en mayor o menor medida asociado al petróleo, bien formando bolsas en el pozo (no asociado), o disuelto en el propio crudo. Este gas se denomina “*gas asociado al crudo*” y sale a la superficie junto a él cuando se perfora un pozo. Una parte del gas se re inyecta para mantener la presión del pozo y favorecer la salida del crudo. El resto habitualmente se quema, se emplea para generar energía o se transporta para su tratamiento y comercialización.

El gas natural ¹se utiliza como combustible doméstico e industrial, además de por su gran poder calorífico, porque su combustión es regulable y produce escasa contaminación. También se emplea como materia prima en la industria petroquímica para la obtención de metanol, etileno, butadieno,...

3.1 El Gas Natural Licuado (GNL)

Según la norma UNE-EN 1160:1996, *El GNL es una mezcla de hidrocarburos compuesta principalmente de metano, que puede contener cantidades pequeñas de etano, propano, nitrógeno u otros componentes que se encuentran normalmente en el gas natural. Del mismo modo, el GNL deberá tener un contenido de metano superior al 75% y un contenido de nitrógeno inferior al 5%.*

¹ Gas natural de composición distinta a la original después de su extracción e igual a la del gas natural licuado.

3.1.1 Densidad y temperatura de ebullición

La densidad del GNL depende de la composición y se encuentra normalmente entre 430 kg/m^3 y 470 kg/m^3 , pero en algunos casos puede llegar hasta 520 kg/m^3 . La densidad es también función de la temperatura del líquido con un gradiente de aproximadamente $-1,35 \text{ kg m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

En lo que se refiere a la temperatura de ebullición del GNL, depende de la composición y está normalmente comprendida entre $-166 \text{ }^\circ\text{C}$ y $-157 \text{ }^\circ\text{C}$ a presión atmosférica. La variación de temperatura de ebullición en función de la presión de vapor es de aproximadamente $1,25 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C/Pa}$.

En la Tabla 3.1 se recogen tres ejemplos típicos de GNL, donde se puede observar la variación de las propiedades en función de las diferentes composiciones.

Tabla 3.1. Ejemplos de distintas composiciones de GNL con sus correspondientes propiedades

Propiedades en el punto de ebullición a presión normal	GNL Ejemplo 1	GNL Ejemplo 2	GNL Ejemplo 3
Contenido molar (%)			
Nitrógeno	0,5	1,79	0,36
Metano	97,5	93,90	87,20
Etano	1,8	3,26	8,61
Propano	0,2	0,69	2,74
i-Butano	–	0,12	0,42
n-Butano	–	0,15	0,65
Pentano	–	0,09	0,02
Peso molecular (kg/kmol)	16,41	17,07	18,52
Temperatura de ebullición ($^\circ\text{C}$)	-162,6	-165,3	-161,3
Densidad (kg/m^3)	431,6	448,8	468,7
Volumen de gas medido a $0 \text{ }^\circ\text{C}$ y 101.325 Pa/Volumen de líquido (m^3/m^3)	590	590	568
Volumen de gas medido a $0 \text{ }^\circ\text{C}$ y 101.325 Pa/Masa de líquido ($\text{m}^3/10^3 \text{ kg}$)	1367	1314	1211

3.1.2 Evaporación del GNL

El GNL se almacena al por mayor en forma de líquido a ebullición en grandes depósitos aislados térmicamente. Cualquier entrada de calor en el depósito provocará la evaporación en forma de gas de una parte del líquido. Este gas se conoce como gas de evaporación. La composición del gas de evaporación dependerá de la composición del líquido. Como ejemplo general, el gas de evaporación puede contener un 20% de nitrógeno, un 80% de metano y trazas de etano. El contenido de nitrógeno del gas de evaporación puede ser unas 20 veces el del GNL.

A medida que el GNL se evapora, el nitrógeno y el metano son los primeros en desprenderse dejando un líquido con una proporción mayor de hidrocarburos pesados.

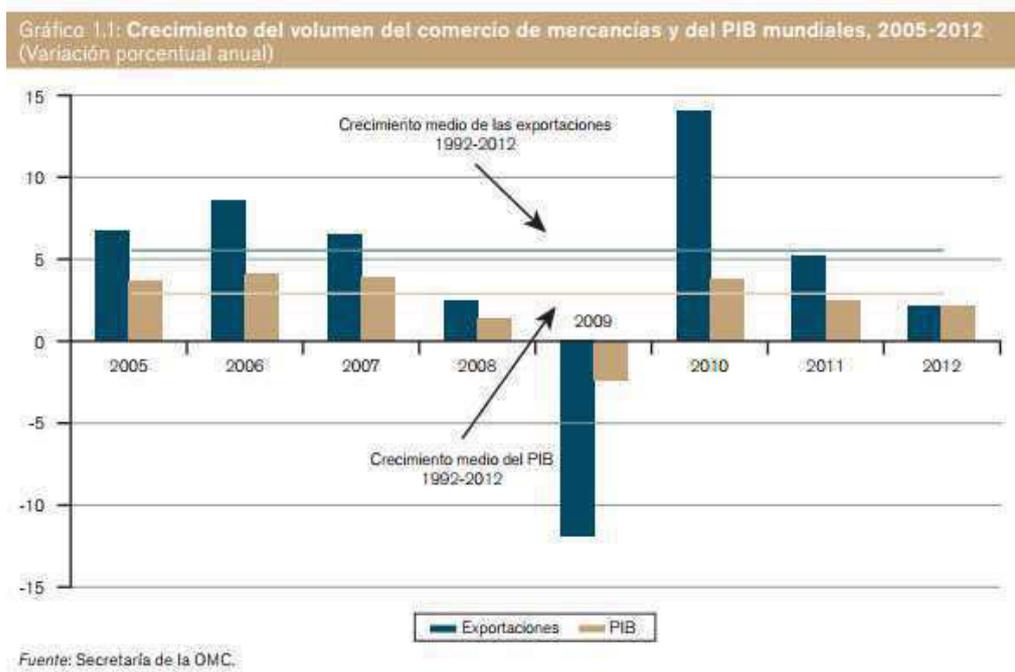
Los gases de evaporación cuyas temperaturas sean inferiores a aproximadamente $-113\text{ }^{\circ}\text{C}$ para el metano puro y a $-85\text{ }^{\circ}\text{C}$ para el metano con un 20% de nitrógeno son más pesados que el aire ambiente. En condiciones normales, la densidad de estos gases de evaporación será aproximadamente de 0,6 veces la del aire.

Como en cualquier fluido, si la presión del GNL presurizado desciende por debajo de su presión de ebullición, una parte del líquido se evaporará y la temperatura del líquido caerá a su nuevo punto de ebullición para esa presión. Esto se conoce como flash. Como el GNL es una mezcla de varios componentes, la composición del gas producido en el flash y la del líquido restante serán distintas. A título indicativo, el flash de 1 m^3 de líquido a la temperatura de ebullición correspondiente a una presión comprendida entre 10^5 Pa y $2\cdot 10^5$ Pa provocado por una caída de presión de 10^3 Pa libera aproximadamente 0,4 kg de gas.

3.2 El entorno energético y el mercado del gas natural

Los sectores energéticos constituyen por sí mismos una parte muy importante de la actividad económica. No obstante, su mayor relevancia reside en que suponen servicios imprescindibles para la vida diaria de los ciudadanos y en que incorporan un valor estratégico innegable al resto de los sectores de la economía, en los que, por naturaleza, constituyen un factor determinante de su propia competitividad. No hay duda de que la energía debe constituir un elemento dinamizador del resto de la economía y nunca llegar a convertirse en obstáculo para su crecimiento. Por ello, el suministro energético en condiciones óptimas de seguridad, calidad, protección del medio ambiente y precio es un objetivo irrenunciable en la definición de una política energética.

La economía mundial experimentó en 2008 cambios muy importantes que dieron al traste con el mayor período de crecimiento desde la década de los sesenta del siglo XX. Las turbulencias financieras que estaban presentes desde mediados de 2007, dieron lugar a finales de 2008 a una profunda crisis financiera global que ha dado paso a una situación de recesión económica generalizada, incluida el área euro. Las debilidades experimentadas a finales de 2007 se prolongaron durante 2008 y dieron lugar a una sustancial reducción del crecimiento de la economía mundial. El PIB mundial, creció en torno al 2% desde el 4% que se había experimentado en 2007. Los datos de 2012 no han sido en ningún caso esperanzadores.

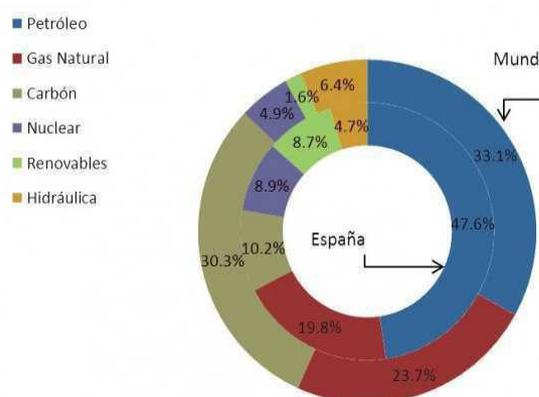


La actividad económica de los países industrializados, se ha visto afectada por el impacto de los precios de las materias primas, y por los desequilibrios financieros que propiciaron una situación crediticia muy restrictiva, con el consiguiente descenso de la demanda. Los países en vías de desarrollo mantuvieron todavía elevados ritmos de crecimiento, limitando, en parte, el descenso de la actividad económica mundial. Pero a finales de 2013 y principios de 2014 se han ralentizado las economías llamadas emergentes, paralizando de este modo el resto de las grandes economías mundiales.



3.2.1 El gas natural en la demanda internacional de energía

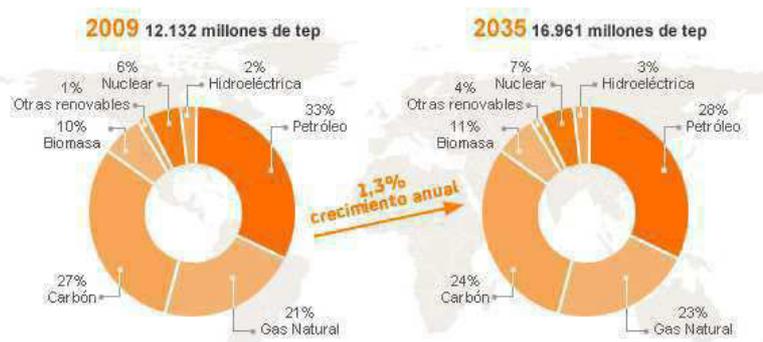
El gas natural ocupó el tercer lugar en el mundo entre las fuentes de energía primaria² más utilizadas durante 2012, sólo después del carbón y del petróleo, que sigue siendo la principal fuente de abastecimiento energético. Esto se puede ver reflejado en la Figura 3.1. En 2012, la demanda mundial de energía primaria creció un 1,5% respecto a 2011. Esto supone un descenso en dicho crecimiento respecto a los años anteriores. Por ejemplo, en 2003 este crecimiento fue del 2,9% y en 2007 del 2,8%. Este descenso viene siendo una constante desde el año 2005 como se refleja en la gráfica 3.1



Consumo de Energía primaria mundial y en España en función del tipo de fuente de energía (elaboración propia a partir de datos de BP)

² Se refiere a fuentes de energía que se obtienen directamente de la naturaleza o bien después de un proceso de extracción.

Perspectivas de crecimiento de la demanda mundial de energía primaria



Fuente: World Energy Outlook 2011, Agencia Internacional de la Energía (AIE)
 Elaboración: Dirección de Estudios y Análisis del Entorno de Repsol

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA POR TIPOS
 miles de tep

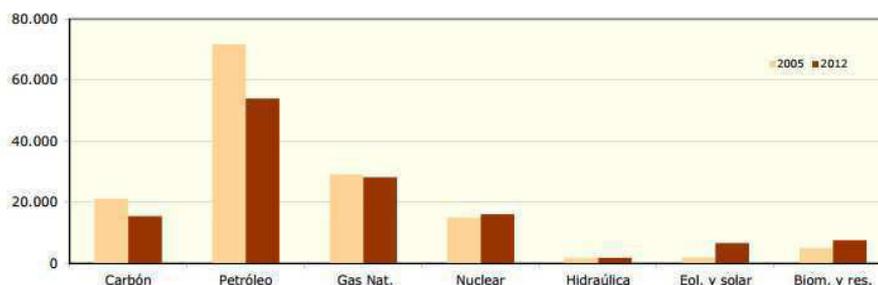


Figura 3.1. Consumo de las distintas fuentes de energía primaria en 2012³

Sin duda el crecimiento de China en el mercado energético sigue al alza, al igual que en la última década, ya que en el año 2012 es el primer consumidor de energía primaria en el mundo con un 21,9%, por delante de Estados Unidos con un 17,7%. Cabe decir que este último ha descendido su cuota de consumo en un 2% respecto al año 2011.

Atendiendo a los datos de la Figura 3.2, el consumo de gas natural en el mundo registró un crecimiento promedio anual de 2,6% con respecto al año 2011. Del mismo modo, el consumo de carbón aumentó un 2,5% en el mismo periodo., debido a que es la principal fuente de energía en China (ver Figura 3.3.)

³ Los datos de *BP Statistical Review of World Energy* no consideran energías comercializadas sin respaldo documental (madera,...), ni energía eléctrica generada por placas solares, eólica, fotovoltaica y geotérmica. Se incluyen biocombustibles

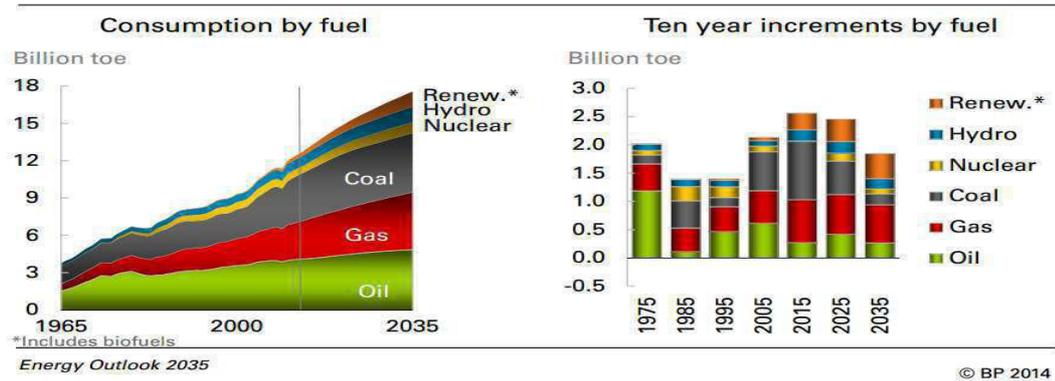


Figura 3.2. Consumo mundial de energía por tipo de fuente (Btoe). 1965-2035

La distribución de los consumos regionales muestra una demanda energética con un crecimiento sostenido, en donde los combustibles fósiles han continuado dominando la red energética mundial. Sin embargo, las tasas de crecimiento no son uniformes en todas las regiones, lo que está provocando que el comercio energético se expanda rápidamente, particularmente en aquellos países y regiones consumidores de petróleo y gas natural, los cuales están incrementando sus importaciones de una manera importante.

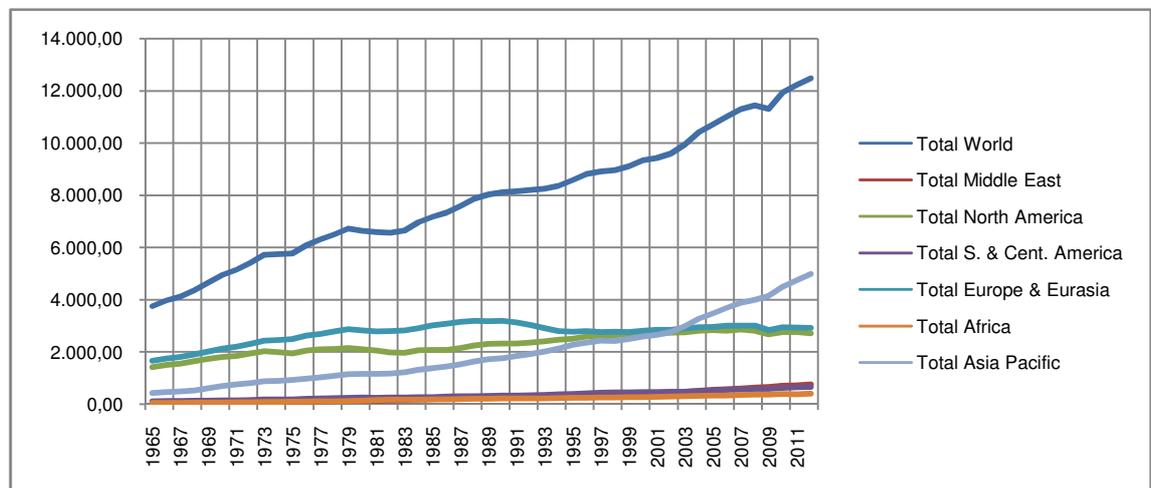


Figura 3.3. Consumo mundial de energía primaria por región en 2012

El comercio de energía primaria no sólo está aumentando la dependencia mutua entre las naciones, sino a la vez genera preocupaciones sobre la vulnerabilidad del abastecimiento energético en el futuro, dado que la producción seguirá estando concentrada en un número pequeño de naciones. En este sentido, los esfuerzos por cambiar a fuentes de energía no fósiles están teniendo un impacto significativo sobre la dependencia de las importaciones.

3.2.2 Consumo mundial de gas natural en el año 2012

Durante 2012, el consumo mundial de gas natural fue de 2987,1 millones de toneladas equivalentes de petróleo, en torno al 31,4% más que en 1998, y un 11,37% mayor que en 2007. Estados Unidos sigue siendo el máximo consumidor de gas natural, ya que ha consumido el 21,9% del total mundial, si bien su aumento porcentual respecto al año 2007 ha sido solamente del 8,6%, frente al 50,96% de China. Esta tendencia de Estados Unidos es debida a un comportamiento altamente volátil en los precios del sector energético, que ha motivado a los consumidores del sector de generación eléctrica e industrial a utilizar combustibles sustitutos del gas natural para satisfacer sus necesidades energéticas a menores costes.

A la vista de la fig. 3.3, se puede observar como la cuota de participación en el consumo de gas natural de Estados Unidos y Europa ha disminuido en la última década en favor de Oriente Medio y sobre todo Asia, con China, Japón y la India como máximos exponentes. Esto no quiere decir que EE.UU y Europa hayan disminuido su consumo de gas natural, sino que han disminuido su cuota de participación en el mercado mundial.

En la Tabla 3.2 se muestran cuales han sido los 25 países con un mayor consumo de gas natural en 2012, así como las cantidades consumidas en 2007 y la tasa de variación de consumo en esos 5 años. El primer consumidor de gas natural en el mundo es EE.UU., seguido de Rusia e Irán. Dentro de la Unión Europea el primer representante es el Reino Unido, seguido de

Alemania. En lo referente a la variación de consumo desde 2007 a 2013 cabe destacar el gran aumento del consumo en China, seguida en menor medida por Eslovaquia. En España en la actualidad estamos viviendo un ligero estancamiento en el consumo debido a la situación económica de los últimos años.

Natural Gas: Consumption								Change	2012
Million tonnes oil equivalent	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2012 over 2011	share of total	
US	597,3	600,6	590,1	619,3	626,5	654,0	4,1%	21,9%	
Canada	86,6	86,5	85,4	85,5	90,8	90,6	-0,4%	3,0%	
Mexico	57,1	59,6	65,2	65,2	69,0	75,3	8,9%	2,5%	
Finland	3,5	3,6	3,2	3,6	3,1	2,8	-10,9%	0,1%	
France	38,3	39,8	38,3	42,7	36,8	38,2	3,7%	1,3%	
Germany	74,6	73,1	70,2	75,0	67,1	67,7	0,7%	2,3%	
Greece	3,4	3,6	3,0	3,3	4,1	3,8	-7,9%	0,1%	
Hungary	10,7	10,6	9,1	9,8	9,4	8,8	-6,5%	0,3%	
Republic of Ireland	4,3	4,5	4,3	4,7	4,1	4,0	-3,2%	0,1%	
Italy	70,0	70,0	64,4	68,5	64,2	61,8	-4,0%	2,1%	
Kazakhstan	7,5	7,3	7,0	7,4	8,3	8,5	2,6%	0,3%	
Lithuania	3,3	2,9	2,5	2,8	3,1	3,0	-2,6%	0,1%	
Netherlands	33,3	34,7	35,0	39,2	34,3	32,8	-4,5%	1,1%	
Norway	3,8	3,9	3,7	3,7	3,9	3,9	-1,0%	0,1%	
Poland	12,4	13,5	13,0	14,0	14,1	14,9	5,1%	0,5%	
Portugal	3,9	4,3	4,2	4,6	4,7	4,2	-9,8%	0,1%	
Romania	14,5	14,3	11,9	12,2	12,5	12,1	-3,5%	0,4%	
Russian Federation	379,8	374,4	350,7	372,7	382,1	374,6	-2,2%	12,5%	
Slovakia	5,1	5,2	4,4	5,0	4,6	5,4	15,8%	0,2%	
Spain	31,6	34,8	31,1	31,2	29,0	28,2	-2,8%	0,9%	
Algeria	21,9	22,8	24,5	23,7	25,1	27,8	10,8%	0,9%	
Egypt	34,5	36,8	38,3	40,6	44,7	47,3	5,7%	1,6%	
China	63,5	73,2	80,6	96,2	117,5	129,5	9,9%	4,3%	
China Hong Kong SAR	2,5	2,9	2,8	3,4	2,7	2,5	-8,2%	0,1%	
India	36,1	37,2	45,9	55,7	55,0	49,1	-11,0%	1,6%	
Indonesia	28,2	30,0	33,6	36,3	33,5	32,2	-4,2%	1,1%	
Japan	81,2	84,4	78,7	85,1	95,0	105,1	10,3%	3,5%	

Source: Includes data from Cedigaz.

Tabla 3.2. Los 25 mayores consumidores de gas natural en 2008 (Mtoe)

3.2.3 Reservas mundiales de gas natural

Se pueden encontrar reservas de gas natural en todos los continentes, aunque las cantidades se encuentran distribuidas de forma muy irregular. Los enormes campos gasíferos que contienen alrededor del 65% del gas mundial se encuentran en Oriente Medio y en la Federación de Rusia. En 2012, las reservas mundiales de gas natural han disminuido en torno al 0,3% respecto al año 2011, y se estiman en 187,3 Trillones de metros cúbicos. (Tmc). Se estima que las reservas actuales de gas natural respecto a los niveles de producción/consumo del mismo son del orden de unos 70 años.

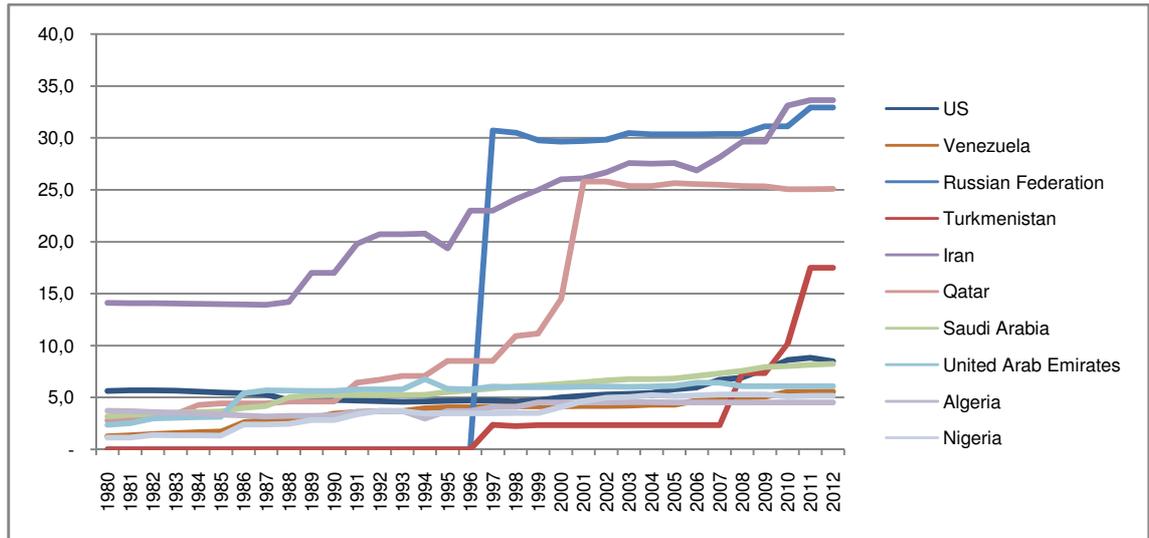


Figura 3.4. Reservas mundiales probadas de gas natural año 1980-2012

En la Figura 3.4. se puede ver cuáles son los 10 países con las mayores reservas probadas de gas natural, donde Rusia posee la principal reserva mundial. Es significativo decir que en 2012, las reservas probadas del resto del mundo exceptuando estos 10 principales países son prácticamente iguales a las de Rusia.

Distribution of proved reserves in 1992, 2002 and 2012
Percentage

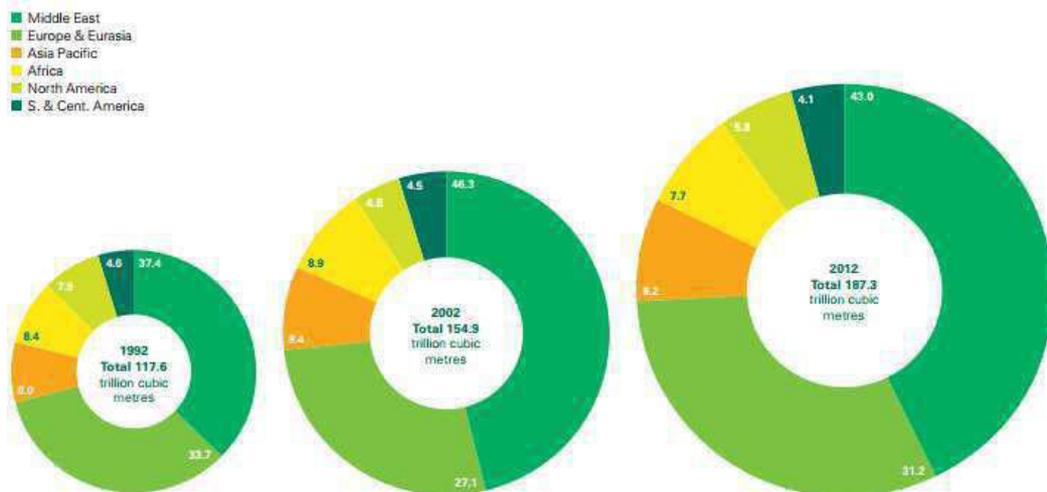


Figura 3.5. Distribución de las reservas probadas en 1992, 2002 y 2012 (%)

3.2.4 Principales exportadores e importadores de GNL

A tenor de los datos, los países productores de gas natural no son los mayores consumidores de dicha fuente de energía, ya que las exportaciones son una fuente innegable de recursos para su economía. En la Figura 3.6. se puede observar quienes han sido los principales exportadores de gas natural a nivel mundial en el año 2012, bien por gaseoducto o por barco metanero en estado líquido.

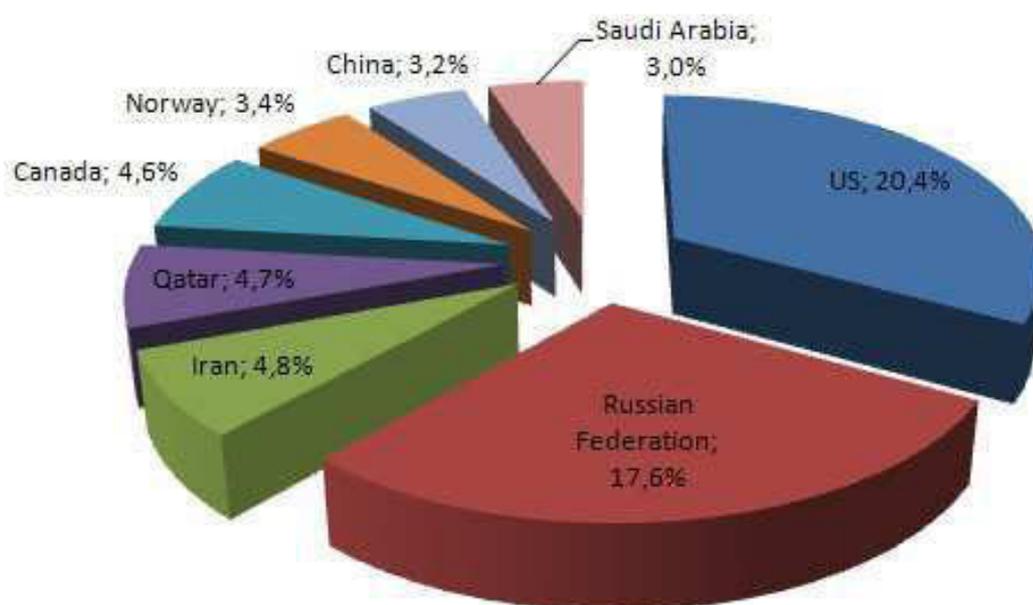


Figura 3.6. Principales Exportadores de GNL en 2012

En la Figura 3.7 se relacionan los países con mayores importaciones de gas natural durante el mismo período de tiempo (año 2012). Destaca con un 41% del total Japón, país muy deficitario en este tipo de recursos y un gran consumidor. Es de destacar también la posición de España en dicho ranking con un nada despreciable 0,9%.

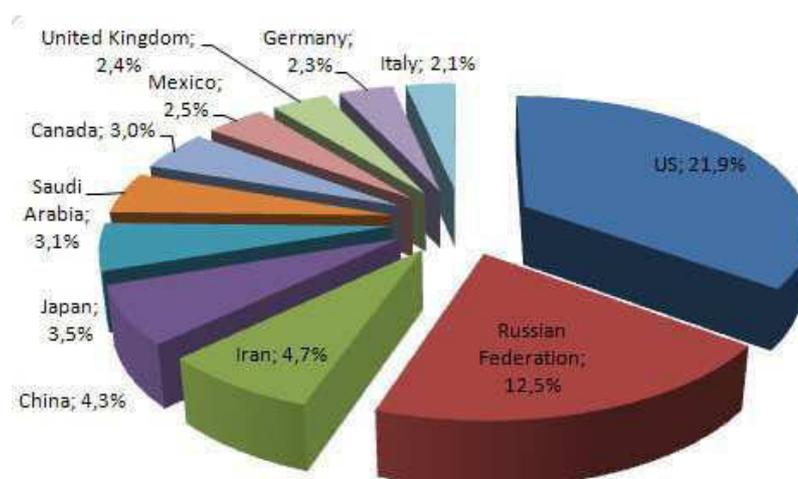


Figura 3.7. Principales Importadores de GNL en 2012

En lo que se refiere al precio del gas natural licuado, a la vista de la Figura 3.8, se puede ver como siempre ha ido de la mano con el precio del crudo. Si bien es cierto que la tendencia en los últimos años ha sido de un menor costo del GNL que del crudo de petróleo.

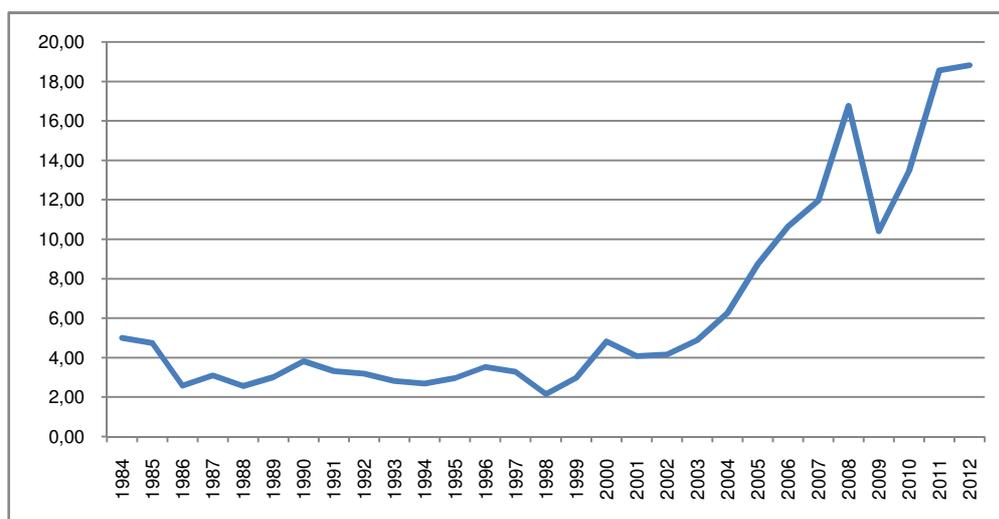


Figura 3.8. Evolución de los precios del GNL y del Petróleo (1984-2012)

3.2.5 Demanda mundial de gas natural, 2001-2015

El gas natural será la fuente de energía primaria, cuyo consumo crecerá más rápidamente, respecto al resto de los combustibles. La demanda de gas natural en el mundo aumentará en torno al 1,9% anual entre 2001 y 2015. Esto significa que en el año 2015 habrá crecido un 30,8% con respecto al gas

natural demandado en 2001. Sin embargo, las tasas de crecimiento no serán uniformes en todos los países, y se prevé que el crecimiento principal se presente en los países en vías de desarrollo, a un promedio anual del 2,5%. La demanda en los países industrializados, en donde el mercado de gas natural es maduro, crecerá a un ritmo del 1,7% anual. En general, el sector de consumo final que motivará los mayores incrementos será el de la generación de energía eléctrica. Aunque en países como España este sector se haya paralizado.

El incremento en el consumo mundial de gas natural provocará que sea necesario aumentar las inversiones, tanto en exploración y explotación de este combustible, como en la construcción de gaseoductos entre países. Del mismo modo, de acuerdo con la geopolítica entre productores y consumidores, se requerirán inversiones para la construcción de plantas regasificadoras de GNL.

En la Tabla 3.3, se observa la tendencia que ha seguido el consumo de gas natural por región mundial, así como las previsiones para los próximos años y la tasa media de incremento anual 2001-2015.

País	1990	2000	2001	2010	2015	tmca ⁴
Industrializados	2.730	3.599	3.537	4.080	4.454	1,7%
<i>Norteamérica</i>	1.744	2.180	2.087	2.466	2.667	1,8%
<i>Europa Occidental</i>	784	1.133	1.147	1.271	1.413	1,5%
<i>Asia Industrializada</i>	201	294	303	343	379	1,6%
						0,0%
Europa del Este/Rusia	2.180	1.784	1.824	2.118	2.398	2,0%
						0,0%
Países en desarrollo	784	1.498	1.645	1.954	2.311	2,5%
<i>Asia</i>	232	513	580	736	900	3,2%
<i>Oriente Medio</i>	286	566	612	660	736	1,3%
<i>África</i>	108	156	178	210	255	2,6%
<i>Centroy Sudamérica</i>	156	255	272	348	428	3,3%
Total	9.206	11.978	12.185	14.187	15.942	1,9%

Tabla 3.3. Demanda mundial de gas natural por región (millones de metros cúbicos diarios)

3.2.6 El gas natural en España

El comportamiento de la demanda de gas natural en España en 2012 ha sido positivo, un 0,9%, continuando la tendencia del año anterior. Se han producido crecimientos muy intensos a lo largo de los años. En general, el sector de gas natural continúa su proceso expansivo en el mercado energético nacional, aumentando continuamente su participación en el balance de energía primaria, que alcanzó, por ejemplo, el 21,86% en el año 2012

En un entorno poco estable, caracterizado por la crisis económica, el descenso de la demanda eléctrica, y el aumento de la penetración del carbón y las renovables, la evolución de la demanda de gas se ha movido por

parámetros globales relativamente optimistas. En 2012 el consumo de gas desciende un 2,8% en relación con el años anterior, una cifra más positiva que la correspondiente al 2011

El sector industrial ha sido el motor de la demanda de gas en nuestro país, con un 59,8% del total de gas consumido en España. El mercado doméstico-comercial (15,6% sobre el total del gas consumido) ha evolucionado también muy positivamente. En relación con este último cabe destacar el record de demanda convencional del 3 de febrero (1249GWh), a causa de la ola de frio en el 2012.

Pese a mantenerse el sector industrial por debajo de su actividad normal (el consumo de electricidad ha bajado alrededor de un 5% en 2012 en las empresas industriales de consumo medio alto, según el indicador IRE de REE), la demanda de gas ha aumentado un 6,1% en 2012, alcanzando los 217 TWh. Este crecimiento se ha debido principalmente a las actuaciones de ampliaciones/remodelaciones en algunas de las refinerías españolas, adecuándolas para producir mayor de destilados medios, especialmente gasóleos. También se ha aprovechado para potenciar el empleo de la tecnología de cogeneración en estas instalaciones.

La demanda de gas en el sector domestico comercial ha aumentado un 8,3%, principalmente, por el esfuerzo comercial que continúa haciendo el sector gasista para la captación de nuevos clientes ej. los municipios (penetración vertical, en zonas de vivienda consolidada) y por unas temperaturas invernales (1,2°C menos que 2011).

En el año 2013 la producción de electricidad con gas natural a través de centrales de ciclo combinado ha aportado el 14% de las necesidades energéticas de España. Esta cifra aumenta considerablemente si se considera la producción mediante cogeneración. La electricidad vertida a la red por los cogeneradores ha aumentado un 7,4% en el periodo enero-septiembre, según datos de la CNE. No obstante, aunque el GN sigue siendo clave en la

producción de energía eléctrica, el consumo de los ciclos combinados en 2012 ha descendido en un 23%.

El año 2012 se ha caracterizado por tener el factor de utilización más bajo de los últimos años (19%). En 2009 el factor de utilización fue del 44% y del 52% en 2008. Esto ocurre en un entorno con una potencia instalada muy estable, que se ha mantenido en el mismo valor desde 2011 (26,251MW) y solo ligeramente superior a 2010. Del balance eléctrico editado por REE para 2012, se desprende que la generación en régimen ordinario de electricidad utilizando ciclos combinados asciende a 38,464 GWh.

El aumento del uso del carbón en la generación ha sido del 25,7% en el 2012. Este avance se ha producido tanto en el carbón nacional (12,2%) como en el de importación (48,3%), si bien las tasas de crecimiento se han moderado en la segunda parte del año 2013.

El primer caso se explica, en parte, por la entrada en vigor de la normativa de subvención al carbón nacional en marzo de 2011 (aunque en 2012 se han producido restricciones a dicha normativa). Por otro lado, el aumento del uso del carbón de importación ha sido consecuencia de los bajos precios que ha mostrado este combustible sobre el gas en Europa. El precio del carbón en el mercado internacional ha bajado un 20% (índice McCloskey) desde enero hasta finales de diciembre de 2012, mientras que a lo largo del año ha subido el precio del petróleo y los productos petrolíferos, precios a los que está ligado la mayor parte del gas natural que llega Europa.

La demanda de electricidad se retrajo un 1,5% el pasado año. Cabe resaltar que la demanda eléctrica fue un 4,5% inferior a la cifra de 2008 y todavía no ha recuperado los niveles previos al inicio de la crisis económica.

En España tenemos una potencia total instalada en Cogeneración de unos 6090MW. De esta cifra unas 5100W corresponden a instalaciones que usan como combustible gas natural. Por lo tanto, la potencia de la

cogeneración con gas natural representa el 84% de toda la potencia de cogeneración en España.

En todo 2012, la cifra de electricidad aportada por la cogeneración al sistema eléctrico habría llegado a unos 27.000GWh. Si bien faltan informes periódicos sistemáticos más completos, se puede afirmar que la cogeneración representaba ya más del 43% de la demanda de gas natural del mercado industrial en 2012, después de haberse puesto en operación instalaciones importantes en refinerías. Por consiguiente, se estima que más del 23% del consumo total de GN en España se realiza por el sector de cogeneración.

MERCADOS	2000	2005	2009	2010	2011	2012
1. DOMÉSTICO-COMERCIAL	34.755	56.425	55.945	64.328	52.433	56.776
Gas natural	34.221	55.856	55.497	64.279	52.387	56.745
Gas manufacturado de gas natural	31	0	0	0	0	0
1.1 Subtotal gas natural	34.253	55.856	55.497	64.279	52.387	56.745
Aire propanado	502	568	448	49	46	31
1.2 Subtotal otros gases	502	568	448	49	46	31
2. INDUSTRIAL	144.994	202.278	180.264	194.089	203.626	216.923
3. CENTRALES ELÉCTRICAS	10.379	111.320	160.888	135.625	109.875	84.600
4. USOS NO ENERGÉTICOS	6.131	6.199	4.874	6.131	6.319	4.339
5. CONVENCIONAL (1.1+2+4)	185.377	264.333	240.635	264.499	262.332	278.007
6. TOTAL GAS NATURAL (1.1+2+3+4)(*)	195.756	375.653	401.523	400.125	372.207	362.608
TOTAL (1.2+6)	196.258	376.221	401.971	400.174	372.253	362.639
TOTAL Ventas de gas natural (bcm)	16,8	32,3	34,5	34,4	32,0	31,2

(*) Hasta 2011, cifra de gas editada por el GTS como entregada por el sistema gasista para su venta, minorada por las mermas.
Fuente: Sedigas

3.2.6.1 Procedencia de los abastecimientos de gas natural en España

En el año 2012 el total de los abastecimientos de gas natural para el consumo interior se produce a través de importaciones e intercambios

comunitarios al ser prácticamente nula la producción nacional. Las importaciones durante el año 2012 ascendieron a 28,2 Mtoe, lo que supone un incremento del 46% respecto al 2000.

Un 72% de dichos aprovisionamientos llega en forma de gas natural licuado (GNL) a las plantas de regasificación disponibles en el sistema, lo que permite una gran diversificación de aprovisionamientos. El 28% restante se importa en forma de gas natural a través de las conexiones internacionales de Larrau, Tarifa y Badajoz.

En lo que respecta a la distribución por orígenes, las cifras muestran la consolidación del objetivo de diversificación de suministros; diez orígenes diferentes con cuotas de participación muy repartidas. Se amplían las fuentes de importación de GNL incorporándose Noruega desde la planta de Snovit y Guinea Ecuatorial.

Nigeria concentra gran parte de las importaciones de GNL, seguido de Qatar, Argelia y Perú. Esto se representa en la Figura 3.9.

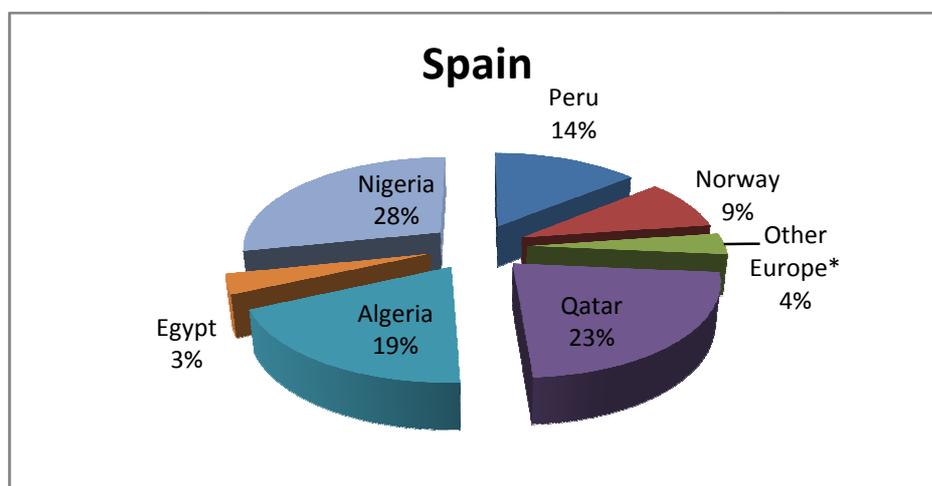


Figura 3.9. Principales países de los que España ha importado GNL en 2012.

En cuanto a las importaciones de GN por gaseoducto, Argelia ha sido (y sigue siendo en la actualidad) el principal proveedor, seguido de Noruega. Esto se refleja en la Figura 3.10.

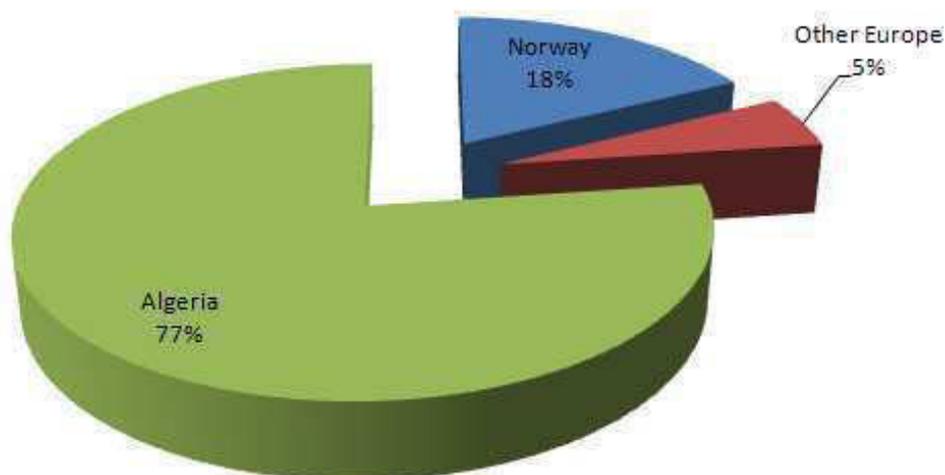


Figura 3.10. Importaciones españolas por gaseoducto en 2012. Total 13.3 Bcm

3.2.7 Infraestructuras para el gas natural en España

El desarrollo de las infraestructuras gasistas en España viene condicionado por la escasa producción de gas nacional y por la situación geográfica de España, alejada de los yacimientos europeos del Mar del Norte y Rusia.

Ambos factores provocaron un desarrollo tardío del gas natural, que comenzó a finales de los sesenta con la construcción de la primera planta de regasificación en Barcelona, abastecida a partir de GNL libio y argelino, seguida de las de Huelva y Cartagena.

Posteriormente, en 1993 se realiza la conexión por gaseoducto con Francia, que conecta la red española con el yacimiento francés de Lacq, y en 1996 se finaliza el gaseoducto del Magreb, que conecta la Península Ibérica con los yacimientos de gas argelinos, atravesando Marruecos y el estrecho de Gibraltar.

La peculiaridad del sistema de gas español, en comparación con otros países europeos, es la elevada dependencia de las importaciones y el elevado protagonismo de las plantas de regasificación en el aprovisionamiento. Como ya se ha citado en el apartado 3.2.6.1 de esta memoria, el 72% del gas natural consumido por España llega en forma de GNL a plantas de regasificación.

El avance de las infraestructuras de gas natural por el territorio peninsular experimenta un gran impulso a partir del Protocolo del Gas de 1985, avance que continúa en la actualidad y que se concreta en varios planes de gasificación acordados entre las empresas de gas y las comunidades autónomas.

Además, el desarrollo de las infraestructuras de gas está condicionado por la elevada extensión territorial, así como por la distribución de la población y la industria.

Las infraestructuras actuales de gas natural en España se componen de seis plantas de regasificación de GNL en operación (Mugardos, Barcelona, Cartagena, Bahía de Bizkaia, Huelva y Sagunto), unos 6.000 km de gaseoductos de transporte y 31.000 km de gaseoductos de distribución, así como almacenamientos subterráneos, yacimientos, conexiones internacionales y estaciones auxiliares (bombeo, medida). En la Figura 3.11 se muestran las infraestructuras actuales y las que tienen un plazo de ejecución próximo. (Para mayor claridad ver Anexo A)

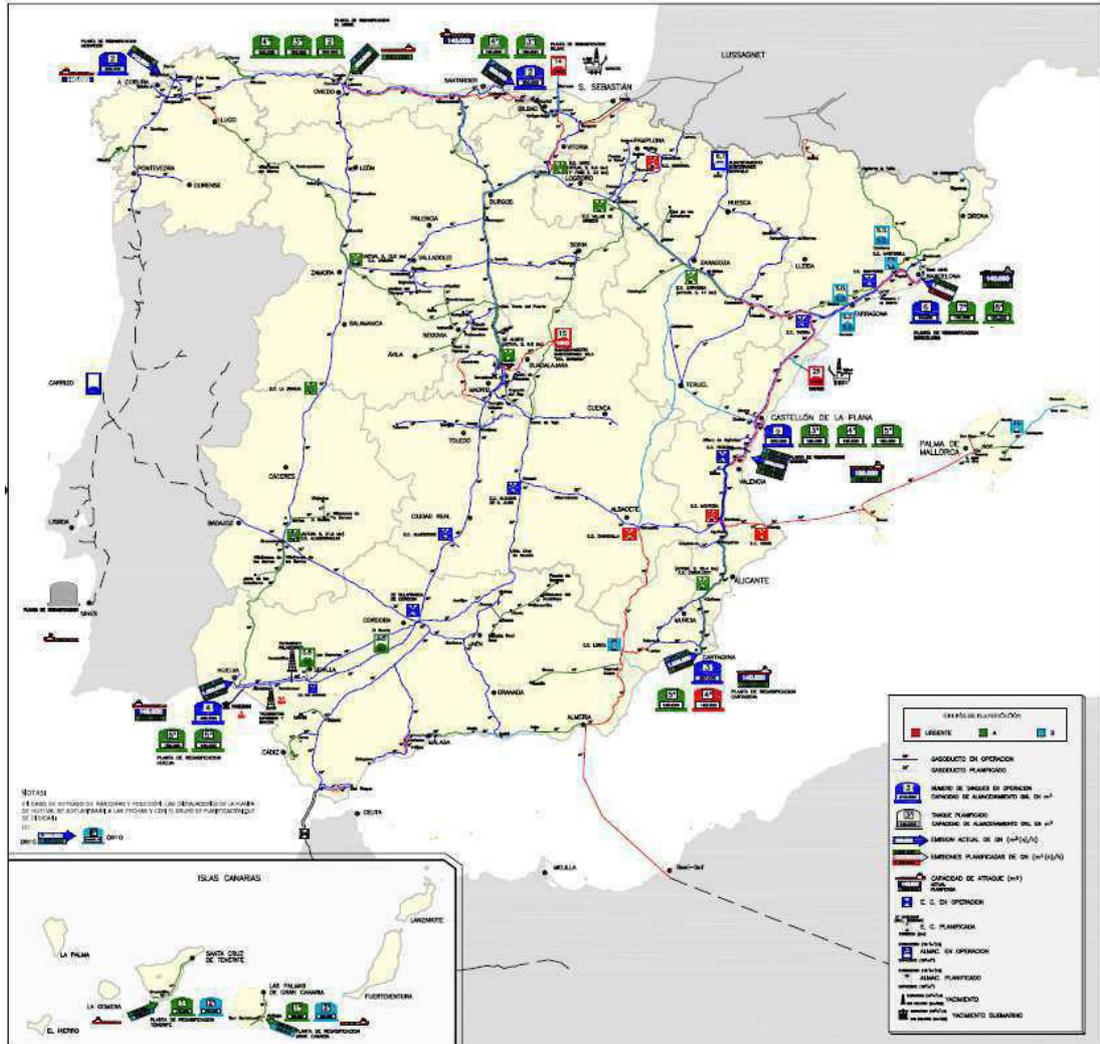


Figura 3.11. Infraestructuras actuales y prevista a corto plazo en España

3.2.8 El sector energético en el Archipiélago de las Islas Canarias

Al igual que en el resto de la Península, el consumo de energía primaria en Canarias ha aumentado de forma continuada en los últimos 20 años. De acuerdo con la metodología de la Agencia Internacional de la Energía, la energía primaria se calcula como la suma de las importaciones de combustibles más la producción interior de energía, deduciendo las exportaciones, los suministros a navegación internacional y las variaciones de existencias, pero incluyendo los suministros a la totalidad de aviones con independencia de su nacionalidad. En la Figura 3.12, se puede observar que el archipiélago canario depende fundamentalmente de los combustibles fósiles y de las importaciones de energía.

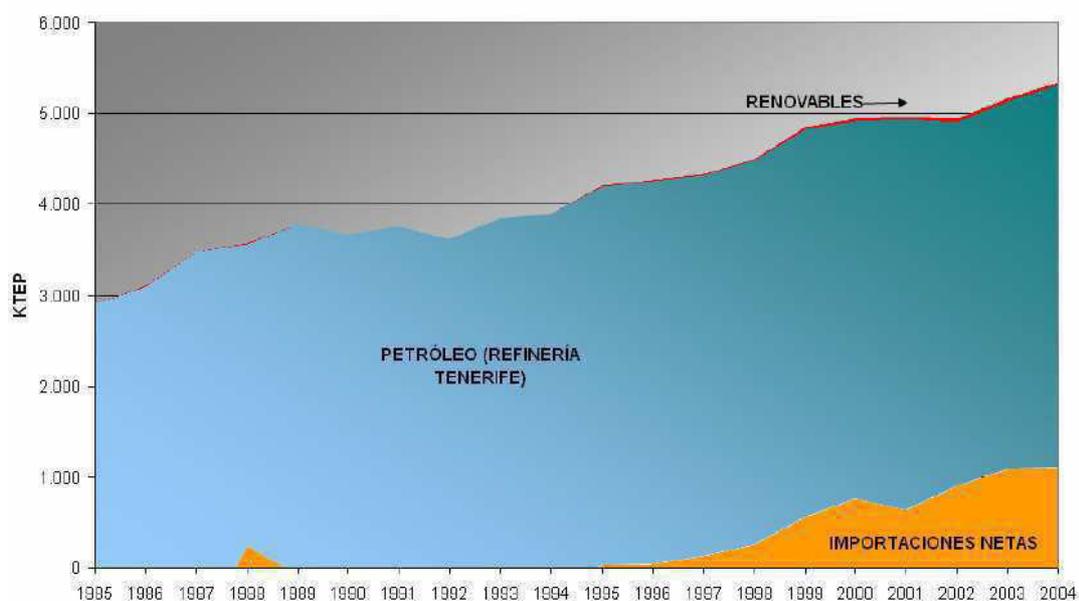


Figura 3.12. Evolución del consumo de energía primaria por fuentes

Existe una gran diferencia respecto a las cifras del conjunto de España, y está justificada por la ausencia casi total de recursos hidroeléctricos en Canarias, lo que impide una participación considerable de las energías renovables en el abastecimiento energético del Archipiélago. La creciente presencia de la energía eólica y de la solar trata de compensar esta carencia, pero aún así, las islas se mantienen muy alejadas de los niveles de participación de las energías renovables que se registran en otros sistemas energéticos de la Unión Europea.

Aproximadamente el 50% de la demanda interna de energía en el Archipiélago está vinculada con el sector de transportes, en sus tres modalidades, terrestre, aéreo y marítimo. El segundo gran grupo demandante de energía es el propio sector de generación de electricidad que absorbe el 39% de la energía primaria. Es en este sector donde entra la necesidad de disponer de infraestructuras de gas natural, ya que las Islas Canarias no cuentan en estos momentos con la posibilidad de integrar el gas natural como una alternativa al petróleo, si bien es cierto que sus centrales térmicas (por ejemplo la del Barranco de Tirajana en Gran Canaria) ya cuentan desde hace algunos años con equipos para generación de energía mediante ciclo

combinado. Haciendo referencia al Anexo A ya citado en el apartado 3.2.7 de esta memoria, el gobierno español en consorcio con el gobierno canario plantea como necesaria la instalación a muy corto plazo de una regasificadora de GNL en Tenerife y otra en Gran Canaria, por ser ambas islas las de mayor demanda energética del Archipiélago. Esto se puede confirmar atendiendo a la Figura 3.13.

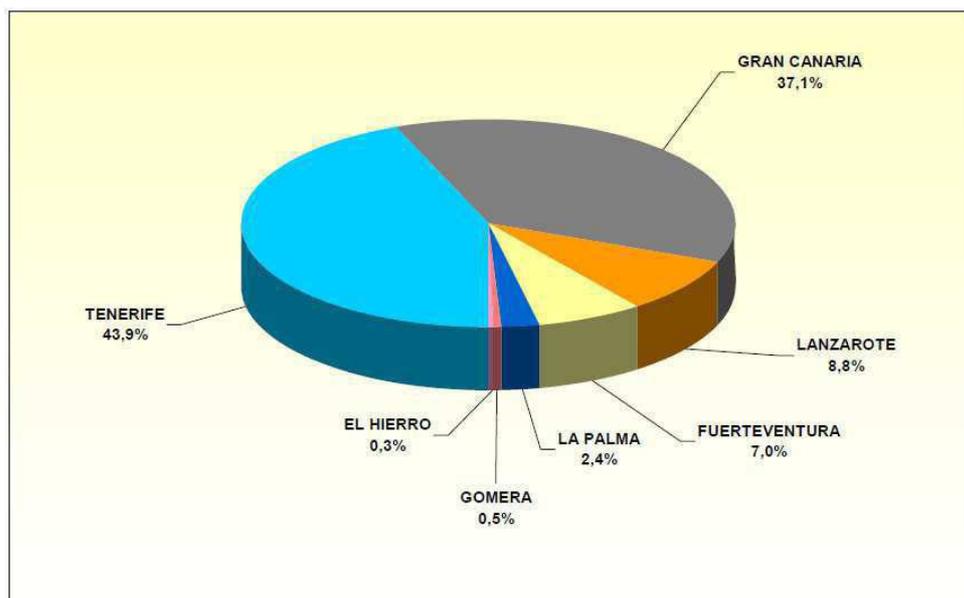


Figura 3.13. Distribución del consumo final de energía por islas

3.3 El estado del arte de la tecnología *offshore* de GNL

En los últimos años, se ha especulado mucho acerca de la construcción de terminales de carga y descarga de buques de GNL en alta mar por varios motivos.

En el caso de las terminales de exportación o carga, también conocidas como de licuefacción, las razones que propician su aparición son:

- ✓ *Inestabilidad política.* Ciertos países exportadores de gas natural, como por ejemplo los de la Costa Oeste de África, son políticamente inestables, por lo que una terminal alejada de la costa se vería aislada de conflictos locales.

- ✓ *Infraestructuras.* En línea con el punto anterior, la construcción de una terminal terrestre, requiere una infraestructura importante y normalmente inexistente en la zona, mientras que una terminal *offshore* se construye en astilleros especializados en países desarrollados.
- ✓ *Reducción de costes para yacimientos en alta mar.* No es necesaria canalización submarina a tierra, lo cual es muy gravoso cuando el yacimiento se encuentra en alta mar y aguas profundas.

Con respecto a las terminales de importación o descarga, también conocidas como de regasificación (el caso que nos atañe), suelen construirse en países industrializados, siendo las razones que propician su aparición de otra índole:

- ✓ *Sociales.* Mayor seguridad de la población que vive en localidades próximas a la planta de gas. Este fenómeno se observa en todo el mundo, denominándose con las siglas inglesas NIMBY (“*not in my backyard*”).
- ✓ *Medioambientales.* Respecto de la línea de costa, lo cual resulta especialmente importante en zonas turísticas.
- ✓ *Problemas de espacio disponible en tierra.* En zonas muy pobladas, o donde el espacio en costa es escaso y de gran valor, resulta difícil o poco rentable disponer de áreas próximas al mar para la instalación de una terminal terrestre.
- ✓ *Problemas energéticos.* En zonas que han multiplicado la demanda energética en los últimos años, es necesario suministrar energía rápidamente y las empresas petrolíferas ven en las terminales *offshore* un medio de posicionarse rápidamente en el mercado, al simultanear la fabricación de los distintos componentes en distintos lugares del mundo.

Como consecuencia de todo lo anterior, la industria *offshore* ha dedicado en los últimos años gran atención al desarrollo de tecnologías que contribuyan a posibilitar la implantación de este tipo de unidades en el mar, realizando un mayor énfasis en las siguientes áreas:

- ✓ *Desarrollo de sistemas de transferencia barco-terminal de GNL.* El estudio de soluciones en este campo es de tal magnitud que constituye una industria en sí mismo. Los mayores problemas son consecuencia de la fatiga de las conexiones debido al movimiento relativo de las unidades. La seguridad en la operación y la desconexión de emergencia son también objeto de estudio extensivo.
- ✓ *Movimiento de fluidos en tanques de carga.* Estudio de cargas de *sloshing* y formación de olas en tanques de unidades flotantes.
- ✓ *Seguridad en la operación y frente a ataques terroristas.* Fugas de gas licuado y sus efectos en las personas e infraestructuras, elevada densidad de equipos en plantas de licuefacción con el consecuente riesgo de explosiones. El grado de complejidad de las terminales de regasificación con respecto a las de licuefacción es inferior, ya que la densidad de equipos es menor y los procesos a realizar *offshore* son más sencillos.

Durante los años 2003 y 2004, distintas compañías petrolíferas han sometido a aprobación de las autoridades proyectos para la instalación de terminales *offshore* de regasificación en el Golfo de México principalmente, pero también en California y el Mar Adriático. Se observan esencialmente 5 categorías de proyectos distintos:

- ✓ ***Instalaciones independientes tipo jacket***, donde se localizan los módulos de regasificación, habilitación, atraque, antorcha, ... El almacenamiento se realiza en tanques de superficie, tanques enterrados

en subestructuras submarinas, o bien no existe almacenamiento y el gas se envía directamente a tierra.

- ✓ **Unidades de hormigón apoyadas en el fondo (CGBS. Concrete Gravity Base Structure)**, de manera que constituyan una isla artificial, apoyada sobre el fondo marino, donde poder atracar buques gaseros y almacenar gas licuado para vaporizar después e inyectar en la red submarina de distribución a tierra.
- ✓ **Unidades de acero apoyadas en el fondo (SGBS. Steel Gravity Base Structure)**, de características similares a las anteriores pero construidas en acero.
- ✓ **Unidades flotantes de regasificación (FSRU. Floating Storage Regasification Units)**, Son normalmente de acero, y algunas de ellas consideran la conversión de gaseros existentes.

4 NORMAS Y REFERENCIAS

4.1 Específicas de construcción

- ✓ RD 1630/1980, de 18 de Julio, sobre fabricación y uso de elementos resistentes para suelos y cubiertas.
- ✓ Orden del 31 de Mayo de 1985, por la que se aprueba el Pliego General de Condiciones para la Recepción de Yesos y Escayolas en las Obras de Construcción RY- 85. BOE de 10-06-85.
- ✓ RD 2532/1985, del 18 de Diciembre, por el que se declaran de obligado cumplimiento las especificaciones técnicas de chimeneas modulares metálicas y su homologación por el Ministerio de Industria y Energía.
- ✓ RD 2699/1985, del 27 de Diciembre, por el que se declaran de obligado cumplimiento las especificaciones técnicas de los perfiles extruidos de aluminio, sus aleaciones y su homologación por el Ministerio de Industria y Energía.

- ✓ RD 2702/1985, del 18 de Diciembre, por el que se homologan los alambres trefilados lisos y corrugados empleados en la fabricación de mallas electro soldadas y viguetas semirresistentes de hormigón armado (viguetas en celosía) por el Ministerio de Industria y Energía.
- ✓ RD 1312/1986, del 25 de Abril, por el que se declara obligatoria la Homologación de los Yesos y Escayolas para la Construcción, así como el cumplimiento de las especificaciones técnicas de los prefabricados y productos afines de yesos y escayolas y su homologación por el Ministerio de Industria y Energía.
- ✓ Orden del 27 de Julio de 1988, por la que se aprueba el Pliego General de Condiciones para la Recepción de los Ladrillos Cerámicos en las Obras de Construcción RL-88.
- ✓ Orden del 4 de Julio de 1990, por la que se aprueba el Pliego de prescripciones técnicas generales para la recepción de bloques de hormigón en las obras de construcción RB-90. (BOE 165, de 11-07-90).
- ✓ Orden del 18 de Diciembre de 1992, por la que se aprueba la Instrucción para la recepción de cables en obras de estabilización de suelos (RCA-92).
- ✓ RD 1039/1991, del 28 de Junio, por el que se aprueba la Instrucción para el proyecto y ejecución de obras de hormigón en masa o armado (EH-91). BOE 158, de 03-07-91.
- ✓ RD 805/1993, del 28 de Mayo, por el que se aprueba la Instrucción para el proyecto y ejecución de obras de hormigón pretensado (EP-93).
- ✓ RD 2608/1996, del 20 de Diciembre, por el que se aprueba la Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado (EF-96).
- ✓ RD 779/1997, del 30 de Mayo, por el que se aprueba la Instrucción para la recepción de cementos (RC-97).
- ✓ RD Ley 1/1998, del 27 de Febrero, sobre infraestructuras comunes en los edificios para el acceso a los servicios de telecomunicación (Antenas Colectivas).

- ✓ RD 2661/1998, del 11 de Diciembre, que aprueba la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE).
- ✓ Resolución de 5 de Marzo de 2001, de la Dirección General de Política Tecnológica, por la que se informa de la aprobación de guías del Documento de Idoneidad Técnica Europeo (guías dite), en desarrollo del RD 1630/1992, de 29 de diciembre. BOE 89, de 13-04-01.
- ✓ Resolución del 20 de Noviembre de 2001, de la Secretaría General Técnica, por la que se reconoce la marca "Q-LGAI" para cementos a los efectos de la Instrucción de Hormigón Estructural. BOE 298, de 13-12-01.
- ✓ RD 642/2002, del 5 de Julio, por el que se aprueba la Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados (EFHE).
- ✓ RD 1797/2003, del 26 de Diciembre, por el que se aprueba la Instrucción para la recepción de cementos (RC-03). BOE 14, de 16-01-04. C.E. 63, de 13-03-04.
- ✓ Resolución del 16 de Marzo de 2004, de la Dirección General de Política Tecnológica, por la que se modifican y amplían los anexos I, II y III de la Orden CTE/2276/2002, del 4 de septiembre, por la que se establece la entrada en vigor del mercado CE relativo a determinados productos de construcción conforme al Documento de Idoneidad Técnica Europeo. BOE 83, de 06-04-04.
- ✓ RD 312/2005, del 18 de marzo, por el que se aprueba la clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de sus propiedades de reacción y de resistencia frente al fuego. BOE 79, de 02-04-05.

4.2 Específicas de electricidad

- ✓ RD 223/2008, del 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09.

- ✓ RD 1454/2005, del 2 de diciembre, por el que se modifican determinadas disposiciones relativas al sector eléctrico.
- ✓ RD 842/2002, del 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para baja tensión. Sólo incluye el Real Decreto.
- ✓ RD 842/2002, del 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para baja tensión. Suplemento con Reglamento Electrotécnico para baja tensión y las instrucciones técnicas complementarias (ITC) BT 01 a BT 51.
- ✓ Ley 54/1997, de 27 de noviembre.
- ✓ Orden del 6 de julio de 1984 por la que se aprueban las instrucciones técnicas complementarias del Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación.
- ✓ RD 3275/1982, del 12 de noviembre, sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas y centros de transformación.

4.3 Específicas de seguridad y salud

- ✓ RD 604/2006, del 19 de mayo, por el que se modifican el Real Decreto 39/1997, del 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, y el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- ✓ RD 396/2006, de 31 de marzo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto.
- ✓ RD 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.
- ✓ RD 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas.

- ✓ RD 2177/2004, de 12 de noviembre, por el que se modifica el Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo, en materia de trabajos temporales en altura.
- ✓ Ley 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales.
- ✓ RD 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- ✓ RD 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.
- ✓ RD 780/1998, de 30 de abril, por el que se modifica el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los servicios de prevención.
- ✓ RD 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.
- ✓ RD 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- ✓ RD 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- ✓ RD 665/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo.
- ✓ RD 664/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo.
- ✓ RD 488/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización.

- ✓ RD 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores.
- ✓ RD 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- ✓ RD 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- ✓ RD 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- ✓ Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales y Normativa de Desarrollo.
- ✓ RD 1407/1992, de 20 de noviembre, por el que se regulan las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual.
- ✓ Orden de 9 de marzo de 1971 por la que se aprueba la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

4.4 Específicas de aguas

- ✓ RD 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.
- ✓ Ley 46/1999, de 13 de diciembre, de modificación de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.
- ✓ RD Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- ✓ RD 606/2003, de 23 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos preliminar, I, IV, V, VI e VIII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.
- ✓ Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional.

4.5 Específicas de medio ambiente

- ✓ RD Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos.
- ✓ Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.
- ✓ Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.
- ✓ RD 509/2007, de 20 de abril, por el que se aprueba el Reglamento para el desenvolvimiento y ejecución de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.
- ✓ RD 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.
- ✓ Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.

4.6 NORMAS Y ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO PARA EL HORMIGÓN

- ✓ UNI ENV 13670-1. Ejecución de estructuras de hormigón.
- ✓ ENE 206-1. Hormigón. Parte 1: Especificaciones, prestaciones y conformidad.
- ✓ CEN prEN 1992-1-1. Eurocódigo 2: Proyectos de estructuras de hormigón. Parte 1-1. Reglas generales y reglas para edificación.
- ✓ CEN EN 288. Especificaciones y aprobación de los procedimientos de soldadura de materiales metálicos.
- ✓ CEN EN-ISO 15620. Soldeo. Soldeo por fricción de materiales metálicos.
- ✓ CEN EN 287-1. Cualificación de soldadores. Soldeo por fusión. Parte 1: Aceros.
- ✓ CEN EN 719 Coordinación del soldeo. Tareas y responsabilidades.

- ✓ CEN prEN 10080. Acero para el armado de hormigón. Acero soldable para armaduras de hormigón armado. Parte 1-6.
- ✓ CEN EN 1008. Agua de amasado para hormigón. Especificaciones para la toma de muestras, los ensayos y la evaluación de aptitud al uso del agua, incluyendo las aguas recuperadas de procesos en la industria del hormigón, como agua de amasado para hormigón.
- ✓ CEN EN 12390-3. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas.
- ✓ CEN EN 12620. Áridos para hormigón.
- ✓ ISO 6934. Acero para el posteo del hormigón.
- ✓ NS 3473. Estructuras de hormigón – Leyes de diseño.
- ✓ NS 3576-3. Acero para el refuerzo del hormigón. Dimensiones y propiedades. Parte 3: barras corrugadas B500C.
- ✓ Instrucción española de hormigón estructural. (EHE) (http://www.mfom.es/cph/norma_ehe.html).
- ✓ UNI EN 932-3. Ensayos para determinar las propiedades generales de los áridos. Parte 3: Procedimiento y terminología para la descripción petrográfica simplificada.
- ✓ UNI 8981-8. Durabilidad de las obras y de los elementos prefabricados del hormigón – Instrucciones para prevenir la reacción álcali-sílice.
- ✓ UNI 8520-22. Áridos para preparados del hormigón. Determinaciones de la reactividad potencial del árido en presencia de álcalis.
- ✓ Directrices para la aprobación técnica europea de los equipos de postesado de estructuras ETAG 013 (<http://www.eota.be>).
- ✓ CEN WS-09. Requerimientos para la instalación de los equipos para el postesado de estructuras y cualificación de la empresa especialista y su personal.
- ✓ ACI 305R-99. Hormigonado en tiempo caluroso.
- ✓ ASTM C330. Especificación estándar para áridos ligeros para hormigón estructural.

- ✓ BS 4449:1997. Barras de acero al carbono para el refuerzo del hormigón.
- ✓ BS 7777-3:1993. Tanques cilíndricos verticales de fondo plano para almacenamiento a baja temperatura.

4.7 CODIGOS DE DISEÑO

- ✓ ASME PTC: Pruebas en bombas
- ✓ ASME B31: Diseño mecánico y materiales
- ✓ ASME sección VII: Diseño de intercambiadores
- ✓ ASTM A 216 WCB: Material y fabricación de válvulas
- ✓ BS 3274: Diseño mecánico, fabricación, materiales de construcción y pruebas de intercambiadores de calor
- ✓ DIN 1944: Test de bombas centrífugas
- ✓ DIN 24293: Datos y construcción de bombas centrífugas
- ✓ DIN 24295: Unidades de bombeo de líquidos y métodos de seguridad
- ✓ DIN 24260: Bombas para la impulsión de líquidos: bombas centrífugas
- ✓ NFPA 59A: Standard para la Producción, Almacenamiento y Manipulación de Gas Natural Licuado
- ✓ API 620: Diseño y Construcción de Grandes Tanques Soldados de Baja Presión

4.8 Programas de cálculo

- ✓ Microsoft Excell

4.9 Otras referencias

- ✓ Página web de Puertos del estado (www.puertos.es)

- ✓ Página web Gascan (www.gascan.es)
- ✓ Página web de British Petroleum (www.bp.com)
- ✓ Página web de Repsol (www.repsol.com)
- ✓ Página web de la asociación Española del Gas (www.sedigas.es)
- ✓ Página web del Gestor Técnico del sistema (www.enagas.es)
- ✓ Página web de LNG Nigeria (www.nlng.com)
- ✓ Página web Medgaz (www.medgaz.com)
- ✓ Página web Dragados Offshore (www.dragadosoffshore.com)

5 REQUISITOS DEL DISEÑO

5.1 Emplazamiento

Dentro de las distintas posibilidades que existen para una planta *offshore* de regasificación de gas natural (comentadas en el apartado 3.3 de esta memoria), se ha optado por una plataforma GBS (Gravity Base Structure) de hormigón. Para el uso de este tipo de estructuras se tienen que cumplir una serie de requisitos como son:

- ✓ Fuera de las rías, por criterios de seguridad y medio ambiente.
- ✓ Distancia entre 4 y 15 km de la costa.
- ✓ Calados superiores a 14 m, suficiente para los mayores gaseros que realizarán la descarga en la planta.
- ✓ Calados inferiores a 25 m, para emplear la tecnología de plantas de gravedad (apoyadas en el fondo), por ser la tecnología preferida por la industria para instalaciones de capacidades relevantes.

Los motivos principales por los que se ha optado por este tipo concreto de estructura son:

- ✓ Frente a una plataforma tipo jacket, no se dispone de ninguna plataforma de este tipo en desuso en la zona, por lo que no se tendría ninguna ventaja, bien económica o en tiempo de ejecución del proyecto, frente a la construcción de una nueva plataforma. A mayores, estas estructuras tipo jacket implican la construcción en tierra de los tanques de almacenamiento, ya que en este caso no se dispone de cavernas de minas de sal submarinas en la zona, que podrían ser reutilizadas como almacenamiento del gas natural.

- ✓ Frente a que la plataforma sea flotante o apoyada en el fondo, lo más habitual es que las plataformas flotantes sean gaseros remodelados, en donde los equipos para el procesado son poco habituales. Las plataformas flotantes suelen usarse cuando no se puede disponer de zonas mar adentro que cumplan con las características necesarias para ubicar una plataforma apoyada en el fondo.
- ✓ La construcción en hormigón y no en acero ha sido una consideración de tipo logístico más que de diseño, ya que la empresa ACS cuenta con las instalaciones necesarias en la bahía de Algeciras (*ACS Offshore*) para la construcción de una terminal de estas características. A mayores, cuentan con la experiencia necesaria para la construcción de un proyecto de esta índole, ya que han construido una para el Adriático Norte (*North Adriatic LNG*).

Para la elección de la localización exacta de la GBS, han de tenerse en cuenta una serie de datos acerca de profundidades, altura y dirección de olas, vientos predominantes, mareas...

5.2 Estudio de profundidad y distancia a costa

El primer punto para el estudio del emplazamiento de la plataforma GBS, es la búsqueda de un espacio que cumpla con las características de profundidad y distancia a costa ya mencionadas. A mayores, debe ser un lugar fuera de canales de tránsito, donde no existan cables submarinos, zonas protegidas y que sea factible construir un gaseoducto desde la plataforma hasta la costa. Esta tarea no es sencilla ya que las Islas Canarias, de origen volcánico todas ellas, prácticamente no cuentan con plataforma continental sumergida, alcanzándose profundidades de 200 m o más a muy pocas millas de costa. En la Figura 5.1 se observa el perfil batimétrico de los alrededores de la Isla de Gran Canaria.

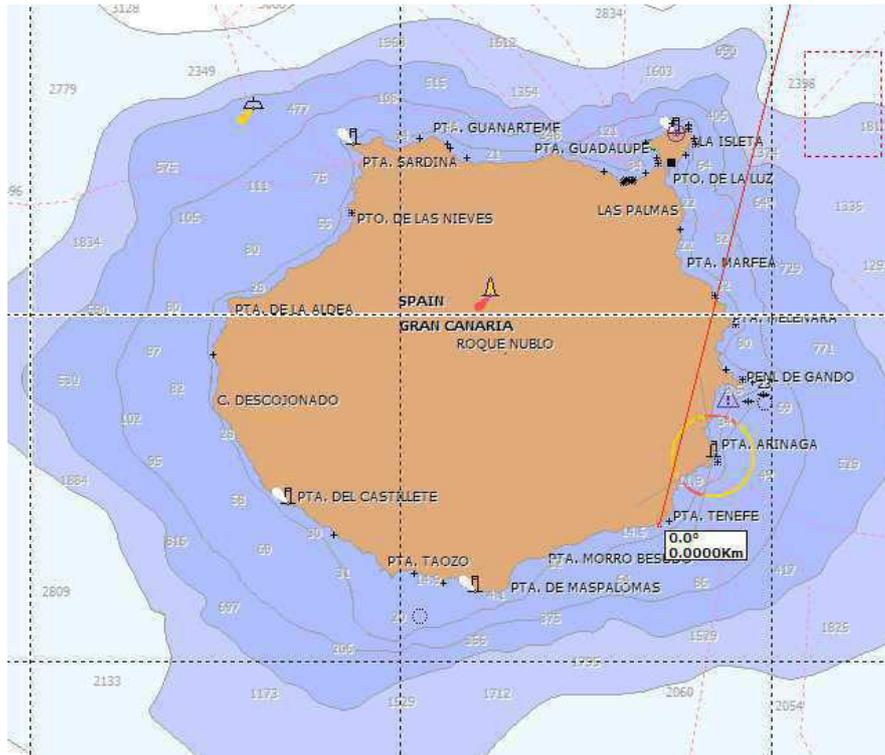


Figura 5.1. Vista del perfil batimétrico de la isla de Gran Canaria

Atendiendo a la Figura 5.1, el punto elegido que cumple con las especificaciones marcadas se encuentra a 6,61 km (dirección 204,1^º) al S-SW de Punta Tazo, en el sur de la isla. Este se muestra en la Figura 5.2. Las coordenadas del punto son **Lat: 27°41'910N, Long: 015°40'989W**. La profundidad en dicho punto es de 24 m.



Figura 5.2. Localización elegida para la plataforma GBS (Punto naranja)

5.3 Condiciones ambientales

En este apartado se estudian las características ambientales dominantes en la ubicación elegida, para definir las características y orientación de la estructura, así como las vías de atraque y escape de buques. No se han evaluado distintas localizaciones desde el punto de vista de condiciones ambientales, ya que únicamente en el lugar elegido se cumplen las restricciones de profundidad y distancia a costa.

5.3.1 Estudio de oleaje

Para la determinación de la magnitud de las alturas de ola, se recurre a los datos de las distintas boyas de las que dispone la red de Puertos del Estado para medida de parámetros físicos como olas, mareas, temperatura,... En la Figura 5.3 se muestran los puntos en los cuales se dispone de datos.



Figura 5.3. Distribución de puntos donde se dispone de datos para el estudio de olas

Ya que no se dispone de ninguna boya próxima a la situación que se considera como factible para la GBS, se realizará una comparativa de los datos de los seis puntos que se indican en la Figura 5.3 para poder deducir con cierta fiabilidad cuales son los valores medios de oleaje. En las Tabla 5.1 a Tabla 5.6 y en las Figura 5.4 a Figura 5.9 se muestran los datos de los que se dispone. Antes de revisar los datos es necesario indicar algunas definiciones:

- ✓ Hs: Altura significativa de ola. Representa la altura media del tercio más alto de olas, ya que la altura del oleaje varía de una ola a otra.

- ✓ Tp: Periodo pico. Es el periodo del grupo de ondas con más energía.

- ✓ Dirección media de procedencia. Se considera como cero dirección norte, y el ángulo de variación en el sentido de las agujas del reloj (Este sería 90).

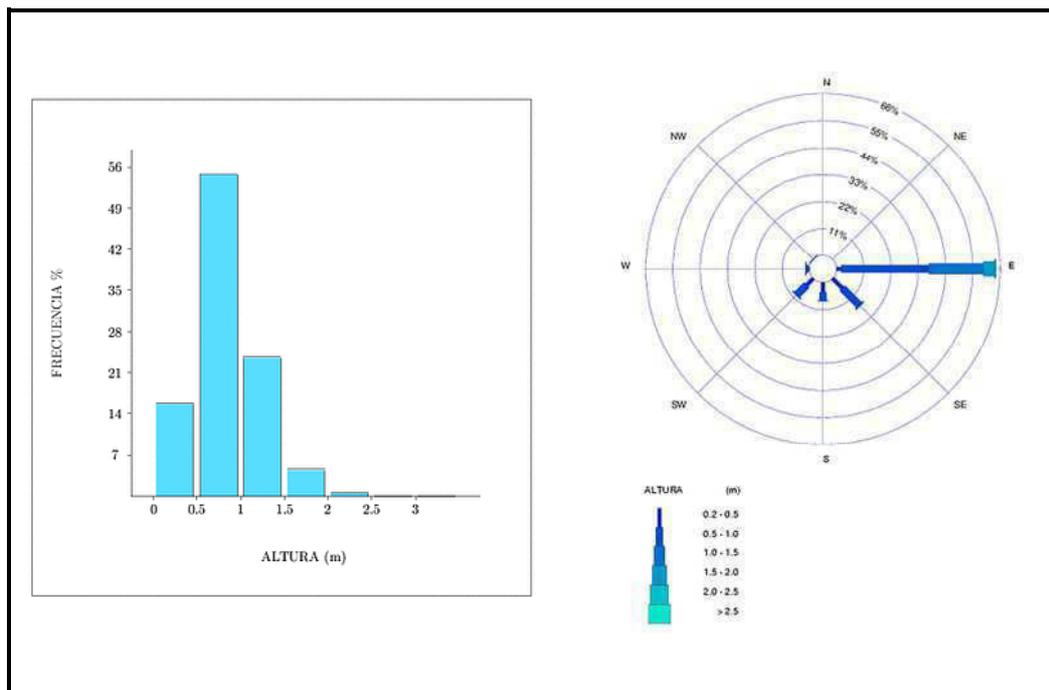


Figura 5.4. Histograma de alturas de olas y rosa de oleajes para el punto 1

Tabla 5.1. Alturas significativas máximas mensuales para el punto 1

Mes	Hs (m)	Tp (s)	Dirección	Día	Hora
Ene.	1,7	5,9	85	12	3
Feb.	1,9	5,6	254	5	18
Mar.	1,5	5,9	90	14	5
Abr.	2,6	7,7	86	21	11
May.	1,8	5,6	88	18	10
Jun.	1,5	5,4	95	23	4
Jul.	2,7	6,4	90	25	2
Ago.	2,6	6,4	99	22	1
Sep.	1,4	7,2	98	21	14
Oct.	1,4	5,9	95	31	22
Nov.	2,1	5,9	83	7	22
Dic.	1,4	7,0	98	4	5

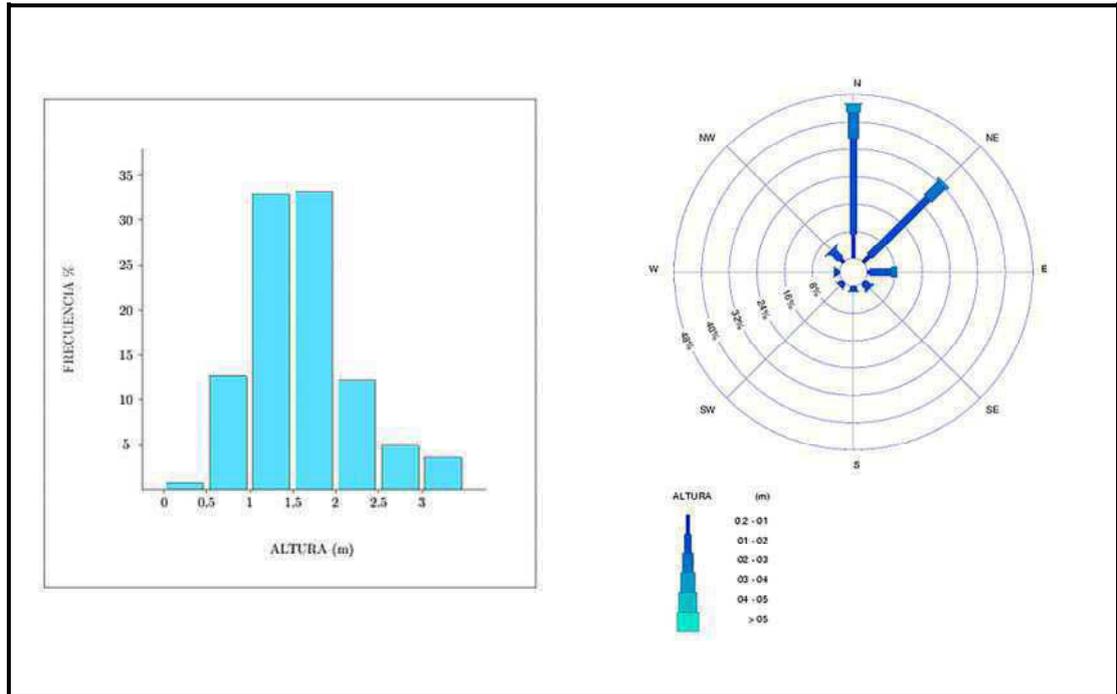


Figura 5.5. Histograma de alturas de olas y rosa de oleajes para el punto 2

Tabla 5.2. Alturas significativas máximas mensuales para el punto 2

Mes	Hs (m)	Tp (s)	Dirección	Día	Hora
Ene.	4,4	18,3	15	16	21
Feb.	4,8	18,3	342	5	17
Mar.	4,0	16,0	27	6	3
Abr.	3,4	9,8	41	8	2
May.	2,5	7,6	33	15	23
Jun.	1,9	18,2	56	6	7
Jul.	2,9	9,2	83	18	15
Ago.	2,7	7,6	45	21	4
Sep.	2,3	7,6	235	3	12
Oct.	3,2	7,6	45	21	4
Nov.	3,6	20,5	16	6	14
Dic.	2,5	11,7	17	1	11

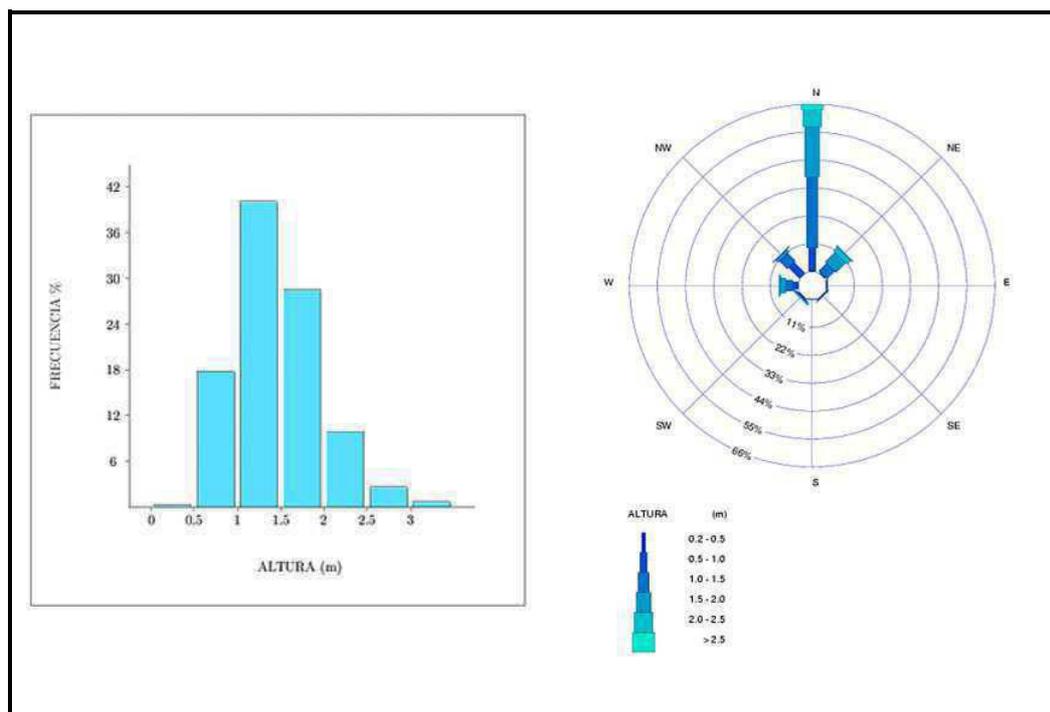


Figura 5.6. Histograma de alturas de olas y rosa de oleajes para el punto 3

Tabla 5.3. Alturas significativas máximas mensuales para el punto 3

Mes	Hs (m)	Tp (s)	Dirección	Día	Hora
Ene.	3,3	16,9	20	30	3
Feb.	2,7	17,9	345	7	21
Mar.	3,2	10,3	15	14	3
Abr.	3,0	8,9	14	30	21
May.	3,1	9,2	15	1	0
Jun.	2,3	8,2	23	17	6
Jul.	2,7	8,6	18	20	3
Ago.	2,2	7,8	26	5	6
Sep.	1,6	14,3	08	15	3
Oct.	2,4	14,8	10	10	3
Nov.	2,5	11,2	22	12	0
Dic.	3,0	8,8	245	23	15

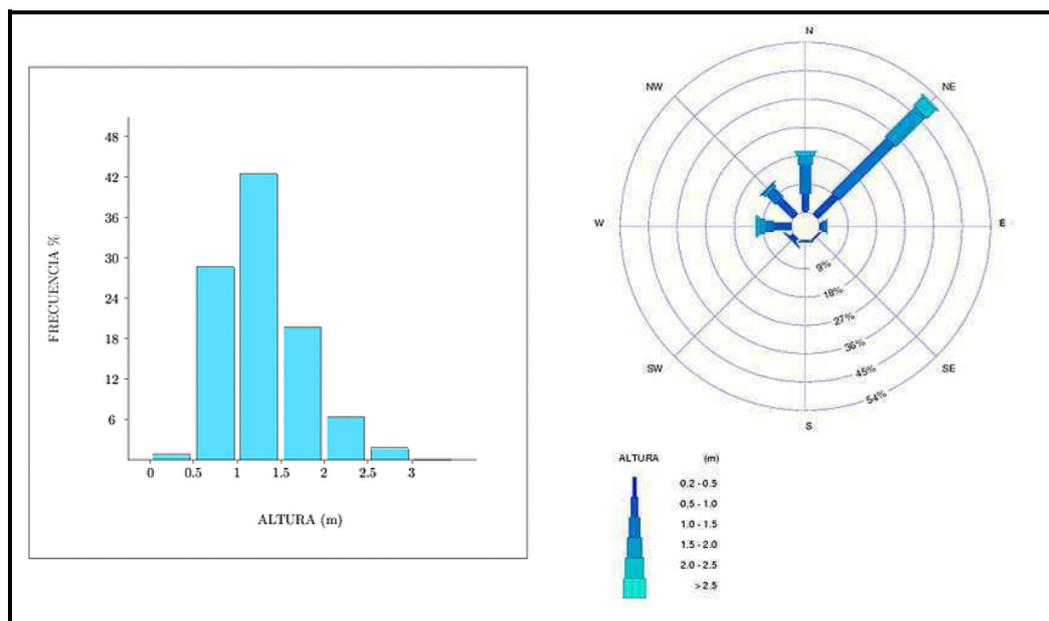


Figura 5.7. Histograma de alturas de olas y rosa de oleajes para el punto 4

Tabla 5.4. Alturas significativas máximas mensuales para el punto 4

Mes	Hs (m)	Tp (s)	Dirección	Día	Hora
Ene.	2,8	8,0	48	30	6
Feb.	2,7	17,9	336	7	21
Mar.	3,0	13,1	264	6	18
Abr.	2,5	6,6	29	30	21
May.	2,7	7,6	38	1	3
Jun.	2,2	7,4	42	17	6
Jul.	2,4	7,3	33	20	0
Ago.	2,1	7,1	46	5	6
Sep.	1,4	14,1	25	15	6
Oct.	2,2	14,6	27	10	6
Nov.	2,1	6,9	54	12	0
Dic.	3,0	8,9	248	23	15

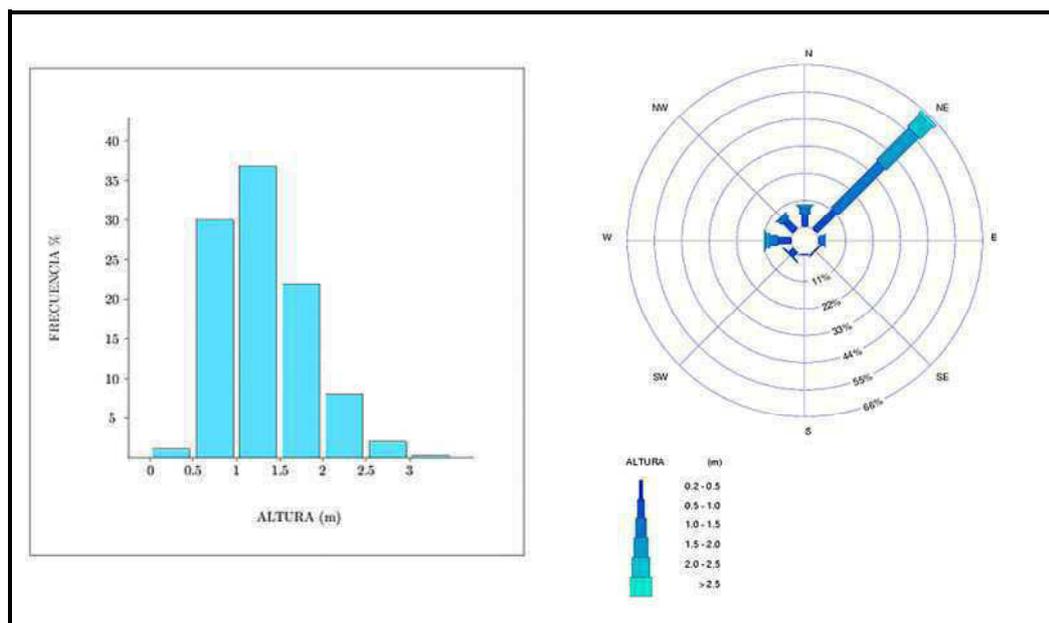


Figura 5.8. Histograma de alturas de olas y rosa de oleajes para el punto 5

Tabla 5.5. Alturas significativas máximas mensuales para el punto 5

Mes	Hs (m)	Tp (s)	Dirección	Día	Hora
Ene.	3,2	8,5	46	30	6
Feb.	2,1	6,4	63	9	18
Mar.	2,9	8,3	44	29	15
Abr.	2,5	7,2	41	30	21
May.	2,8	8,0	46	1	3
Jun.	2,4	7,8	42	17	6
Jul.	2,7	8,2	37	20	0
Ago.	2,4	7,6	43	5	6
Sep.	1,6	5,9	41	7	9
Oct.	2,1	6,8	44	10	6
Nov.	2,5	11,0	41	11	21
Dic.	2,9	8,9	247	23	15

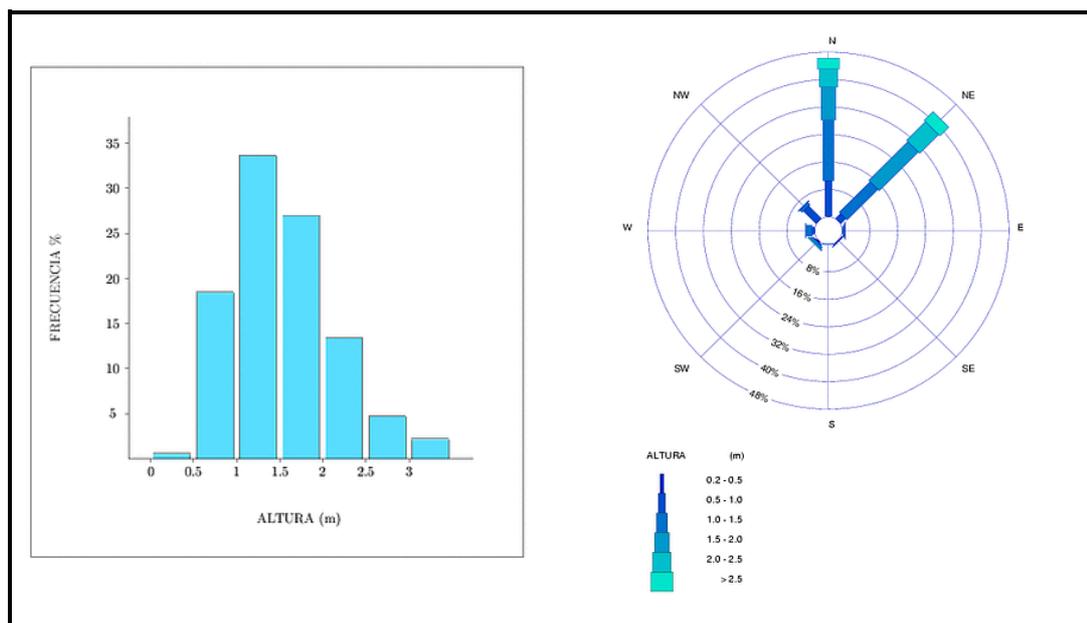


Figura 5.9. Histograma de alturas de olas y rosa de oleajes para el punto 6

Tabla 5.6. Alturas significativas máximas mensuales para el punto 6

Mes	Hs (m)	Tp (s)	Dirección	Día	Hora
Ene.	4,1	9,5	26	30	6
Feb.	2,6	6,4	40	9	18
Mar.	3,6	10,3	20	14	9
Abr.	3,6	16,7	17	30	21
May.	3,8	16,1	19	1	0
Jun.	2,8	8,2	29	17	6
Jul.	3,2	8,8	24	20	3
Ago.	2,6	7,9	33	5	6
Sep.	1,8	6,0	27	7	9
Oct.	3,0	15,1	13	10	3
Nov.	3,1	11,0	30	11	21
Dic.	2,4	8,1	230	23	12

Atendiendo a toda esta información, se observa que el valor máximo de ola es de 4,8 m, obtenido en el punto 2 que corresponde a la boya de aguas profundas situada al noroeste de la isla de Gran Canaria (muy alejado de la localización del GBS). La media de altura de ola para todos los puntos, suponiendo que todos afectasen de igual modo, es de 2,62 m. Es importante tener en cuenta que todos estos datos, son los valores que se dan con una cierta probabilidad. No quiere decir que la ola más alta, por ejemplo, haya sido de 5 m, ya que se han registrado olas de incluso 12 m, pero cuya probabilidad es muy pequeña. Atendiendo a las rosas de oleajes de los distintos puntos, se deduce que la dirección mayoritaria de procedencia de las olas en el punto donde se quiere localizar la GBS es N-NE.

5.3.2 Características del viento

Atendiendo a diferentes estudios realizados con datos tomados por el Instituto Nacional de Meteorología, así como a estudios eco cartográfico del sur de la isla de Gran Canaria, se observa que las direcciones del viento que inciden con mayor frecuencia en el año son N y NNE, con porcentajes que rebasan el 45%. En el período desde mayo hasta septiembre, los vientos de estos sectores alcanzan un promedio del 92%, aproximadamente. El resto de los meses (octubre-abril), la aparición de vientos procedentes de otras direcciones y de calmas destaca con un 40% aproximadamente.

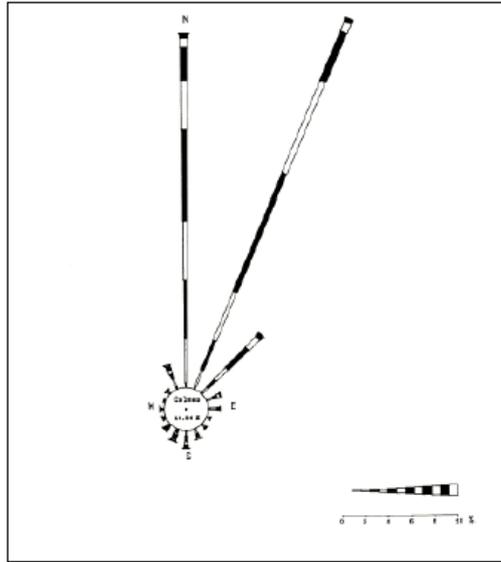


Figura 5.10. Rosa de los vientos aeropuerto de Gando

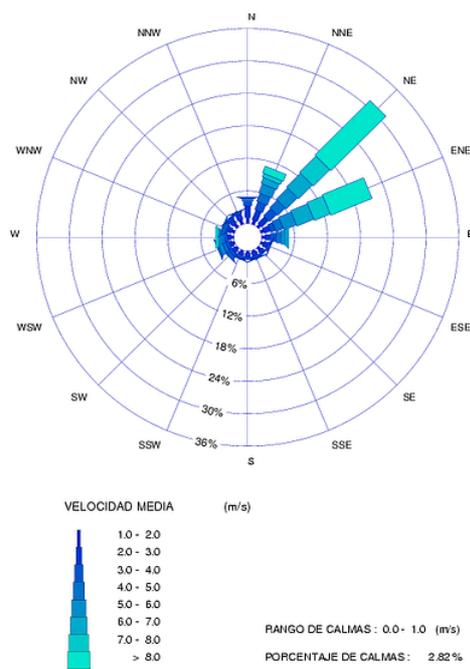


Figura 5.11. Rosa de vientos punto 1

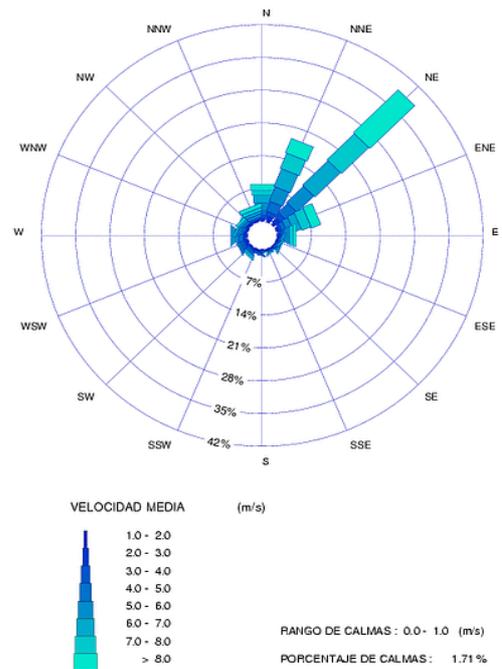


Figura 5.12. Rosa de vientos punto 2

Si se compara la Figura 5.10, procedente del aeropuerto de Gando que se encuentra entre los municipios de Ingenio y Telde (zona central de la isla), con las Figura 5.11 y Figura 5.12, se observa que la dirección predominante de procedencia de los vientos es la comprendida entre las direcciones N y NE. Esto nos puede dar una idea de cuál es la dirección predominante del viento en la localización elegida.

5.3.3 Características de las corrientes

El modelo de circulación a gran escala para la isla de Gran Canaria queda determinado por los siguientes elementos:

- ✓ En la zona más oriental de la isla, la corriente predominante es la general de la costa atlántica africana, más templada que la anterior, de velocidad similar y de dirección S-SW.
- ✓ Ocasionalmente, los vientos del SW o S pueden suprimir o alterar la dirección y velocidad de la corriente durante tiempos reducidos. Por el contrario, la presencia sostenida de vientos del primer cuadrante hace aumentar su velocidad hasta llegar incluso a alcanzar los dos nudos.
- ✓ Las velocidades medias, en general inferiores a un nudo, tienen una importancia muy reducida con respecto al transporte litoral, por lo que su consideración es de importancia bastante relativa.
- ✓ La evolución temporal de los datos de intensidad y dirección de la corriente pone de manifiesto que la corriente litoral está generada básicamente por las mareas, ya que existen cambios de dirección muy marcados de unos 180º a periodos de aproximadamente seis horas. Las intensidades registradas (a pesar que experimentan una escasa variación durante el periodo de observación) parecen manifestar que la mayor intensidad relativa se da en los transportes hacia el segundo cuadrante (llenante).

5.3.4 Composición del fondo marino

En general en la zona seleccionada para la situación de la plataforma, hay una alternancia de sedimentos de grano grueso y grano fino desde la cota -10 m. Por debajo de esta cota varía la composición, pasando desde rocas a bloques y bolos de vegetación, encostramientos y enraizamientos. Por debajo de cota -25 m, aparece una leve cubierta vegetal.

5.4 Orientación de la plataforma

La orientación de la terminal se realizará de manera que se ofrezca la menor resistencia a las fuerzas ambientales. Así, se ha decidido que se diseñe con la popa orientada al noreste NE, ya que la incidencia más probable de olas será en un cono de 90° centrado en esa dirección. A la vista de los estudios de olas, vientos y mareas, la incidencia más probable de vientos es de procedencia N y NE y las mareas que también siguen esa misma dirección (hacia S-SW). El atraque de los buques gaseros se realizará por el lado de babor de la terminal, de forma que se mantenga alejado de la costa. El atraque del buque también se realizará con la proa en la misma dirección que la proa de la terminal. Esto se realiza para que la zona del castillo de popa del barco y la zona de habitabilidad de la terminal queden próximas una de otra. La dirección elegida también favorece el alejamiento del buque sin ningún tipo de ayuda externa, tanto de la terminal como de costa, en caso de que se produzca un desenganche forzado o fortuito de la embarcación, ya que tanto los vientos como corrientes arrastraría el buque en dirección S-SW. En la Figura 5.13 se muestra una representación de la posición y orientación de la GBS, así como del trazado del gaseoducto.

La zona de habitabilidad de la terminal quedará a la popa de la instalación, para que en caso de funcionamiento de la antorcha o en caso de incendio fortuito, el humo sea alejado por los vientos predominantes.

Se ha decidido posicionar la terminal en la dirección de las fuerzas ambientales principalmente porque se ha elegido un tamaño de terminal más pequeño (180 m de largo, 92 m de ancho y 40 de puntal) que alguno de los buques que puedan atracar en ella, para evitar las tensiones que generarían el oleaje, vientos predominantes y mareas en las zonas salientes del buque frente a la terminal.



Figura 5.13. Representación de la GBS y del gasoducto propuesto

5.5 Red de gasoductos

Es bien sabido que las infraestructuras de gas natural en Gran Canaria son inexistentes. Como se recoge en el documento “*Planificación de los sectores de electricidad y gas 2008-2016*” editado por la Subdirección General de Planificación Energética del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, ya están siendo tramitadas las licencias para la creación de la red de gasoductos. En la Figura 5.13 se muestra cual es el trazado propuesto para dicho gasoducto. El tramo amarillo de 12,5 km sería el tramo que tendría que ser construido para llevar el gas natural desde la plataforma de regasificación hasta el enganche con el gasoducto y que está fuera del alcance de este

estudio. Se prevé que el consumidor preferencial del gas natural será la central térmica del Barranco de Tirajana. Por todo esto, la ubicación propuesta para la planta de regasificación *offshore* podría ser una opción, a priori más que factible, a la ubicación en tierra que baraja tanto el Ministerio de Industria como el gobierno canario, situada en la zona sombreada roja representada en la Figura 5.13.

5.6 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La terminal, como ya se ha comentado en esta memoria, está diseñada para la recepción, almacenamiento y regasificación de gas natural licuado (GNL). El GNL llega en barcos metaneros a la terminal, se descarga, se almacena y se regasifica bajo demanda. En esta sección se describe brevemente el proceso productivo.

5.6.1 Descarga/Carga de buques

La terminal está pensada para el amarre, descarga y carga de buques metaneros de entre 40.000 y 150.000 m³ de capacidad. El GNL procedentes de los tanques del buque es descargado mediante los brazos habilitados a tal efecto (L-101 A/B/C) y conducido a los tanques de almacenamiento de la terminal. El GNL en descarga es bombeado por las bombas que posee el propio buque. Los mencionados brazos tienen una capacidad de descarga de 4.000 m³/h cada uno, y a una presión de diseño de 5 bar. Por tanto, un gasero medio, a razón de 12.000 m³/h tardará unas 13h en ser descargado. Al mismo tiempo que se descarga el buque, se envía una corriente de BOG (*boil-off gas*) de retorno por un brazo idéntico a los anteriores (L-102). Este BOG es desplazado por diferencia de presión desde los tanques de almacenamiento de la terminal hasta los del buque. Por este motivo, se debe mantener la presión de BOG en tanques en un nivel alto (180 mbarg) para facilitar este trasiego. El BOG es enviado de vuelta al buque a razón de 4.000 m³/h. El BOG de vuelta a buque pasa previamente por un intercambiador de calor (E-102) cuyo cometido es mantener dicha línea de vapor por debajo de -140°C, y por un separador de

líquido (V-102) para eliminar los posibles arrastres de líquido o condensados de esta corriente de retorno. El proceso de carga la buque se realiza de forma idéntica a la de descarga con la única diferencia que el GNL ha de ser bombeado desde los tanques de la plataforma con las bombas primaria y se hará llegar al buque a través de los brazos conectados al manifold del mismo. Esto se realizará a caudal constante de 500m³/h. En la descarga se hará uso de tres brazos de líquido y uno de retorno de vapor. Durante la carga solo se usará uno de líquido y otro de vapor, convirtiéndose este en un proceso más lento.

5.6.2 Sección de almacenamiento de GNL

La terminal está dotada de dos tanques idénticos (T-211 y T-221) de 150.000 m³ de capacidad unitaria. Éstos, son tanques estructurales autoportantes (IHI SPB) fabricados en acero con un 9% de níquel. Están ubicados en el volumen hueco que alberga la plataforma de hormigón (GBS) en su interior. Estos tanques no transfieren ningún tipo de tensión a la estructura hormigonada (excepto las generadas por el peso de los tanques y de su contenido), gran diferencia frente a los tanques de la mayoría de las terminales terrestres. En estos tanques se almacena el GNL a temperaturas criogénicas de -160°C aproximadamente y a presión máxima de diseño de 250 mbarg. Todas las entradas y salidas de líneas de proceso y de instrumentos están conectadas a la parte superior de los tanques, para evitar que en caso de una rotura de línea se produzca un derrame de GNL fuera del propio tanque.

Estos tanques están equipados con un sistema de doble descarga, es decir, en función de las propiedades del GNL entrante, éste puede ser descargado directamente en la parte alta del tanque o en la parte baja. Esto es muy conveniente para mejorar y dar lugar al mezclado del GNL entrante con el ya existente en el propio tanque y evitar así problemas de *roll-over* (inversión de la carga) por estratificación y diferencias de densidades de GNL de distintas calidades. Una situación de *roll-over* puede dar lugar a una vaporización súbita de GNL, provocando una generación espontánea de BOG con la consecuente

subida de presión en el tanque. En los tanques no se han considerado problemas de *sloshing* (formación de olas en el líquido del propio tanque) por estar la plataforma sujeta al lecho marino.

Los tanques están diseñados para que la cantidad de BOG producido no exceda el 0,05% por día de la capacidad máxima de almacenamiento.

5.6.3 Etapa de bombeo primaria

Cada uno de los tanques está equipado con dos bombas sumergidas en el propio gas natural licuado (P-211 A/B y P-221 A/B). Estas bombas son las encargadas de, por un lado, enviar el gas natural licuado al relicuador (R-401) y, por otro lado, enviar una parte del GNL almacenado hacia la zona de descarga de buque para mantener frías las líneas de descarga mientras no están en funcionamiento y evitar así problemas de fragilización del material en la siguiente puesta en frío de las líneas y equipos en desuso.

Cada una de las bombas está alojada en un tubo dentro del propio tanque y bañadas y lubricadas por el GNL. Esto es posible debido a que el GNL no es conductor de la electricidad. Dichas bombas están suspendidas por un cable desde la parte superior del tanque (para poder retirarlas en caso de problemas), y descansan sobre una válvula anti retorno que permite la entrada del GNL en el tubo donde se encuentra la bomba. Las líneas eléctricas de las bombas primarias están siendo barridas constantemente por nitrógeno para evitar la entrada de aire al tanque y prevenir una situación potencialmente peligrosa.

Las bombas primarias son bombas centrífugas que son capaces de impulsar un caudal relativamente alto (en torno a los 500 m³/h) y a una presión máxima de diseño de 10 bar.

5.6.4 Compresores de BOG

El BOG, como ya se ha dicho, es el vapor que se forma por evaporación no deseada del GNL, principalmente en los tanques de almacenamiento, debido sobre todo a la transmisión de calor desde el exterior hacia el líquido criogénico.

La planta dispone de una etapa de compresión formada por tres compresores de tipo centrífugo (K-301 A/B/C) capaces de tratar un caudal de BOG de unos 4.000 kg/h cada uno de ellos y presurizarlo hasta aproximadamente 11 bar.

El cometido de la etapa de compresión es recomprimir el BOG formado en los tanques y en las zonas de la terminal que están en *stand-by* para enviarlo al relicuador (R-401) y no tener que proceder a su combustión.

Antes de la etapa de compresión están situados un cambiador de calor (E-301) y un separador de líquidos (V-301) encargados de enfriar la corriente de BOG antes de la entrada de compresores para regular así la temperatura de salida del vapor y favorecer la condensación del mismo en el relicuador, y separar los posibles arrastres de líquido para proteger los equipos de compresión respectivamente.

5.6.5 Sistema de relicuación de vapor

Las corrientes de líquido impulsadas (bien directamente o después de haber pasado por la recirculación de las líneas y equipos que no están siendo usadas) por las bombas primarias, y el vapor comprimido por los K-301 A/B/C son enviadas al relicuador.

El cometido de este equipo es doble, por un lado favorecer el contacto íntimo entre el vapor comprimido y el GNL entrante, y por otro lado servir de succión para la etapa secundaria (alta presión) de bombeo. Para describir el

funcionamiento del equipo se puede dividir en dos zonas. Por un lado, la zona de cabeza consiste en una torre rellena de anillos *rasching* metálicos donde se ponen en contracorriente e íntimamente en contacto el vapor (hacia arriba) y el GNL descendiente por dicho relleno. Debido a este contacto directo, el vapor es enfriado y condensado, pasando a formar parte de la corriente de líquido.

La zona de colas del R-401 sirve como almacenamiento del líquido que entra procedente de las recirculaciones y de la etapa de bombeo primario (ya que solo una parte del líquido entrante es utilizado para enfriar y relicuar el vapor), y como tanque de alimentación para las bombas secundarias.

5.6.6 Etapa de bombeo secundario

Está formado por cuatro bombas idénticas (P-411 A/B/C/D) que se encargan de aumentar la presión del GNL antes de ser enviado a los vaporizadores. Estas bombas, al igual que las primarias, son bombas sumergidas en el propio líquido y se encargan de impulsarlo a una presión de 80-90 bar hasta los vaporizadores. Es importante decir que, en operación normal, se cumple la tasa de emisión de gas natural de diseño con el funcionamiento de dos bombas simultáneamente, siendo necesaria una tercera en caso de picos de máxima emisión, permaneciendo como mínimo siempre una bomba en *stand-by*. Las bombas son centrífugas y están diseñadas para desplazar un caudal de GNL del orden de 400 m³/h cada una. Al igual que las primarias, el sistema eléctrico de las bombas está siendo purgado continuamente con nitrógeno para evitar entrada de aire al sistema.

5.6.7 Bombas de agua de mar

Para el funcionamiento normal de la terminal, son necesarias 3 bombas de agua de mar (P-501 A/B/C) (dos en funcionamiento y una tercera en reserva). Al igual que las anteriores (tanto primarias como secundarias), estas bombas son centrífugas sumergidas. Se encuentran localizadas a 10 m de profundidad sobre una losa de hormigón saliente desde la proa de la GBS y

recubiertas por una reja que impide la entrada de suciedad a la succión de las bombas. El cometido de estas bombas es enviar un caudal de aproximadamente 5.500 m³/h de agua de mar necesaria para el funcionamiento de los vaporizadores de carcasa abierta (*Open Rack Vaporizers*).

5.6.8 Sistema de vaporización

El sistema de vaporización del que dispone la terminal consiste en dos vaporizadores de agua de mar (*Open Rack Vaporizers*) (E-410 y E-420) y un vaporizador de combustión sumergida (*Submerged Combustion Vaporizer*), (E-430), cada uno de ellos capaz de tratar 150.000 kg/h de GNL.

En operación normal, estarán en funcionamiento los vaporizadores de agua de mar. A cada uno de estos equipos llegan dos corrientes, por un lado el agua de mar procedente de las P-501 que entra por arriba al equipo, y rebosa desde unos canales habilitados para tal fin, por fuera de los paneles que forman los tubos de aluminio del vaporizador. Por otro lado se realiza el aporte de GNL que fluye desde arriba también pero por dentro de cada uno de los dobles tubo que componen los paneles del vaporizador. Debido al intercambio de calor desde el agua hasta el gas natural licuado, tiene lugar la vaporización del mismo. El gas ya calentado fluye por la zona intermedia que forman los dobles tubo y sale para su introducción en gaseoducto. Cada vaporizador es capaz de emitir unos 300.000 Nm³/ h de gas natural.

El vaporizador de combustión sumergida (E-430) consiste en un sistema de tubo en forma de serpentín sumergido en un baño de agua calefactada por un quemador de fuel. El gas entra en ese tubo y debido al aporte de calor que recibe vaporiza. La capacidad de este equipo es la misma que la de los ORV. Salvo en picos de emisión o por problemas en el sistema de bombeo de agua de mar o en uno de los vaporizadores de carcasa abierta, este equipo se mantendrá en *stand-by* debido al consumo de fuel.

En la planta no se ha considerado la posibilidad de introducir un sistema de odorización con THT por el problema que supone el suministro a alta mar de dicho odorizante, con lo cual esta etapa será incluida en el enganche del gaseoducto submarino con la línea de distribución terrestre de gas natural.

5.7 SUMINISTRO ELÉCTRICO DE PLANTA

El suministro eléctrico de planta se lleva a cabo a través de una línea de alimentación de 132KV proveniente de la Central Térmica de Barranco de Tirajana sita en el municipio de San Bartolomé de Tirajana (Gran Canaria), a la que se le suministrará gas desde esta terminal. La línea de alimentación y el tramo de Gasoducto para la conexión entre la Central térmica y la Terminal de GNL lo realizará la propia central.

La Subestación Aislada con Gas (GIS) será de la casa Areva y el tipo será una F35 40KA y 3150A. Esta constara de las siguientes posiciones:

- ✓ Posición Trafo 1
- ✓ Posición Trafo 2
- ✓ Posición Línea Entrada
- ✓ Posición Línea Reserva (2ª Línea)
- ✓ Posición de medida
- ✓ Posición de Acoplamiento de Barras

La corriente nominal de funcionamiento será de 2500A y vendrá equipada con transformadores de tensión y corriente por cada posición. Las relaciones de transformación serán las especificadas en el proyecto.

El cable de la línea de alimentación a los transformadores será CABLE NEXANS EAXeCew 1x630/165/132(145)Kv 2005 Sem 51

De la subestación principal dependerán dos transformadores de cabecera de 132KV/6,6Kv que darán alimentación a la plataforma. Los transformadores serán la casa Pauwels y serán de una potencia aparente de 23,5KVA. Serán independientes y colgará cada uno de su respectiva posición. Un solo transformador debe ser capaz de dar alimentación por completo a la planta, por lo que estos trabajarán en redundancia. Estos transformadores serán los encargados de dar alimentación a los dos embarrados de 6,6KV y a su vez a los transformadores del sistema de 400V.

5.8 SISTEMA DE CONTROL

En esta sección se lleva a cabo la descripción del sistema de control empleado en la planta. La función del mismo es mantener de forma automática las distintas variables del proceso dentro de especificaciones para preservar el buen funcionamiento de la instalación.

Se describirá cada uno de los lazos que figuran en el *Diagrama P&ID* anexo a esta memoria.

5.8.1 Parámetros de control

Las variables más importantes a tener en cuenta en esta instalación serán la temperatura, la presión el flujo y el nivel, dependiendo del equipo y línea de la que tratemos. Como se indica en el *Diagrama P&ID* (plano 3), la nomenclatura usada será la que se muestran e la Figura 5.14.

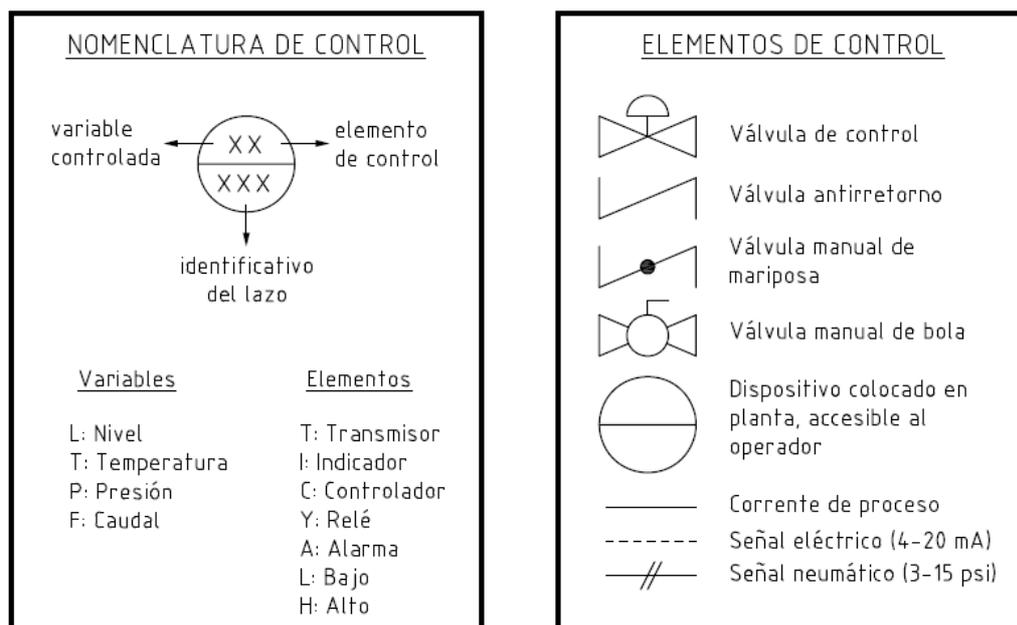


Figura 5.14. Nomenclatura utilizada en el diagrama P&ID

En lo que se refiere a “*elementos de control*” que integran los distintos lazos, se representan de la siguiente forma:

- ✓ **Sensor/transmisor: T.** Es el dispositivo que se encarga de medir y codificar la señal (transformándolo en señal eléctrica o neumática) para que ésta pueda ser recibida e interpretada por el controlador.
- ✓ **Controlador: C.** Este equipo se encarga de comparar el valor recibido procedente del sensor/transmisor y compararlo con su set-point (punto de consigna). La corrección necesaria (en caso de que lo sea) será enviada al elemento actuador de la válvula de control.
- ✓ **Válvula de control: V.** Es el elemento que habitualmente actúa como elemento final del lazo de control, actuando directamente sobre el flujo que regula la propiedad deseada.
- ✓ **Indicador: I.** Muestra el valor medido por el sensor para que pueda ser examinado por el operador bien sea en campo o en sala de control.

- ✓ **Alarma: A.** Son elementos del sistema de seguridad primario, emitiendo señales acústicas, visuales o de otro tipo avisando al personal de planta ante un posible problema.

5.8.2 Lazos de control

En este apartado se explica cada uno de los lazos empleados en esta instalación, indicando su objetivo, elementos que lo forman, tipo de lazo y una breve descripción del procedimiento de control. El número que se indica como correspondiente al lazo, así como la simbología empleada se encuentra reflejada en el *Diagrama P&ID*.

5.8.3 Lazo de control 101

Este lazo de control tiene como objetivo controlar la temperatura de la corriente de vapor que se devuelve al barco.

- ✓ Variable controlada: temperatura de la corriente de vapor
- ✓ Variable manipulada: Corriente de GNL refrigerante que entra al E-102

El lazo de control está formado por un sensor/transmisor de temperatura (TT-101), que envía el valor medido al controlador (TIC-101) y este compara el valor recibido con su set-point y devuelve una señal al elemento final de control, la válvula que se encuentra en la línea de líquido de entrada al E-102. Es un lazo de control *feed-back* sencillo.

En el cambiador E-102 existe también la posibilidad de visualizar en campo las temperaturas del vapor de entrada y salida del E-102 mediante los TI-103 y TI-103.

5.8.4 Lazos de control 211 y 221

Estos lazos de control tienen como objetivo controlar el flujo de salida de las bombas primarias de los tanques. (Se explicará el lazo 211; el lazo 221 es análogo). Si el flujo desciende por debajo de una cantidad determinada, la bomba entra en recirculación.

El lazo de control está formado por un medidor/transmisor de caudal (FT-211) que envía la señal con la variable medida al controlador e indicador de flujo (FIC-211), este la compara con su *set-point* y envía la señal (en caso de ser necesario actuar) al elemento final de control, la válvula que se encuentra aguas arriba, en la línea que comunica el colector de impulsión de las bombas con la entrada de GNL a los tanques.

- ✓ Variable controlada: caudal de la corriente de de impulsión.
- ✓ Variable manipulada: Flujo recirculado al tanque.

Este lazo de control es un lazo de control *feed-back* sencillo. Una variable controlada, una variable manipulada.

5.8.5 Lazos de control 212 y 222

El objetivo de estos lazos es controlar el nivel de líquido en el tanque (ambos lazos son análogos, por lo que se explicará el 212).

Este lazo está formado por un medidor/transmisor de nivel (LT-212) que envía la señal de nivel al controlador/indicador LIC-212 que la compara con su *set-point* y, en función del valor actúa sobre la válvula que se encuentra aguas arriba en la impulsión de las bombas o la que está situada en la línea de entrada de líquido al tanque. Variable controlada nivel, variables manipuladas flujos de entrada o salida. Este es un lazo de control en rango dividido en donde, en función del nivel transmitido por el LT-212 el controlador envía señal a una válvula u otra. Si la señal del LT es de bajo nivel en el tanque, envía la

señal a la válvula situada en impulsión de bombas (cerrándola). Si la señal es de nivel alto, actúa cerrando la válvula situada en la entrada de líquido al tanque.

Estos lazos estarían íntimamente relacionados con los 211 y 221.

5.8.6 Lazo de control 301

Este lazo es análogo al lazo 101 descrito en el apartado 5.8.3, al igual que los TI-302 y TI-303, indicadores de temperatura situados en campo, accesibles a operador.

5.8.7 Lazo de control 304

El objetivo de este lazo de control es el de controlar el nivel de líquido en el separador V-301. Variable controlada nivel, variable manipulada flujo.

El LT-304 envía el valor medido al LIC-304 quien compara dicho valor con su *set-point* y envía la señal al elemento final de control, en este caso, la válvula de control que se encuentra en la salida de líquido del V-301. El objetivo es que el nivel en el líquido no suba del valor deseado y mantener así la operación en especificaciones. Este es un lazo de control *feed-back* sencillo. Una variable controlada, una variable manipulada.

5.8.8 Lazo de control 401

Este lazo tiene como objetivo controlar el nivel de líquido en el relicuador R-401. En este caso, la variable controlada es el nivel de líquido en el tanque, y las variables manipuladas son el flujo de salida de líquido hacia la admisión de las bombas o el flujo de entrada al relicuador procedente de las bombas primarias y recirculación fría.

En este caso, el medidor/transmisor de nivel (LT-401) envía la señal con el nivel medido al LIC-401 quien lo compara con su consigna y actúa sobre la

válvula aguas abajo en la salida de líquido hacia la admisión de las bombas secundarias, o sobre la válvula que se encuentra en la línea de entrada hacia el relicuador procedente del bombeo primario. Este es un control en rango dividido, en donde si el nivel de líquido del relicuador aumenta por encima de un cierto valor se actúa sobre la entrada de líquido, y si baja por debajo de un cierto valor se actúa sobre la salida de líquido hacia bombeo secundario. Con este lazo de control se pretende mantener el nivel de líquido en el relicuador para mantener la operación en especificaciones.

5.8.9 Lazo de control 402

Con este lazo se pretende controlar la presión en el relicuador A-401. El objetivo es ese mismo, controlar la presión en el relicuador. En este caso el transmisor de presión envía el valor de la presión al controlador e indicador PIC-402 quien, en función del valor recibido y de su *set-point* actúa sobre la válvula que está situada en la línea de entrada de vapor al relicuador, o sobre la que está situada en la línea de entrada de líquido a la cabeza del equipo. Este también es un control en rango dividido, en donde, si la presión sube de un determinado valor se disminuye la entrada de vapor al equipo, y si baja demasiado se actúa sobre la entrada de líquido, disminuyendo la entrada.

5.8.10 Lazos de control 403, 404, 405 y 406

La función de estos lazos es la misma que la del lazo 211. Sirve para que las bombas secundarias implicadas en cada caso no se queden sin líquido en la admisión y evitar que sigan trabajando sin líquido. Variable controlada, flujo de salida de la bomba, variable manipulada, flujo. (Se explicará el lazo 403, los demás son análogos). En este caso el transmisor/sensor de flujo FT-403 envía el valor medido al controlador e indicador de flujo FIC-403 quien, en función de su *set-point* abre la válvula situada en la línea de recirculación de líquido de la bomba. El objetivo es mantener la operación en especificaciones y evitar que la bomba se quede sin líquido en la admisión. Es un lazo de control *feedback* sencillo con una variable controlada y una variable manipulada.

5.8.11 Lazos de control 407 y 410

Estos dos lazos de control (se explicará el lazo 407 ya que el 410 es análogo) tiene como misión mantener en especificaciones la temperatura de salida del gas natural a la línea de emisión. En este caso el lazo consta de dos medidores/transmisores de flujo y temperatura (FT-407 y TT-407), un indicador/controlador de flujo (FIC-407), un controlador de temperatura (TIC-407) y una válvula de control situada en la línea de entrada de GNL al vaporizador. Este es un lazo de control en cascada con dos niveles. En el nivel más interior se encuentra el control de lazo de flujo, y el externo el de temperatura. Así, el *set-point* del controlador de flujo viene dado por el lazo de temperatura, es decir, el TT-407 envía la temperatura medida al TIC-407 quien, en función de su codificación envía una señal al FIC-407, que será el *set-point* de dicho FIC. El FIC-407 envía una señal al elemento final de control, la válvula situada en la línea de entrada de líquido al vaporizador. El lazo con una dinámica más rápida es el más interno, el de flujo, y el de dinámica más lenta el de fuera, es decir, el de temperatura. Normalmente los lazos de control en cascada suelen ir acompañados de lazos de control *feed-back*.

5.8.12 Lazos de control 411 y 412

Estos dos lazos de control consisten en un transmisor de flujo (FT-411 y FT-412), un controlador de flujo (FIC-411 y FIC 412), y un elemento final de control que es una válvula de control situada en la entrada de líquido (GNL) al vaporizador. El objetivo principal de este lazo es por seguridad, para que el equipo nunca se quede sin fluido calefactor (agua) e impedir así que se enfríe demasiado el material del equipo y que el entre gas natural licuado en la línea de salida a gaseoducto (o gas muy frío lo cual podría provocar la rotura de la línea ya que es acero al carbono). Así, el transmisor envía al controlador que compara la señal recibida con su *set-point* y actúa sobre la válvula colocada para tal fin. Control *feed-back* sencillo con una variable controlada y una variable manipulada.

5.8.13 Lazo de control 413

El funcionamiento de este lazo de control es análogo a los lazos 407 y 410 con la salvedad de que la actuación se realiza sobre la entrada de fuel-gas al quemador, en lugar de sobre la entrada de líquido frío al equipo.

TÍTULO: **PLANTA DE REGASIFICIÓN OFFSHORE DE GNL**

SELECCIÓN DE EQUIPOS

PETICIONARIO: **ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA**

AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N

15405 - FERROL

FECHA: **JUNIO DE 2014**

AUTOR: **EL ALUMNO**

Fdo.: **JUAN SEBASTIAN REY PIÑON**

ÍNDICE

1	TANQUES DE ALMACENAMIENTO	1
1.1	<i>Tecnología de los tanques de GNL.....</i>	<i>1</i>
1.2	<i>Elección del tipo de tanque y características.....</i>	<i>2</i>
1.2.1	<i>Tanques de almacenamiento T-211 y T-221</i>	<i>8</i>
2	SISTEMA DE BOMBEO PRIMARIO	8
3	COMPRESORES DE BOIL-OFF GAS (BOG) K-301A/B/C.....	10
4	SEPARADORES DE LÍQUIDO	11
5	INTERCAMBIADORES DE CALOR DE CARCASA Y TUBOS	13
6	VAPORIZADORES	15
7	RELICUADOR R-401	17
8	BOMBAS SECUNDARIAS P-411A/B/C/D	19
9	BOMBAS DE AGUA DE MAR P-501A/B/C.....	20
10	SISTEMA ELÉCTRICO DE PLANTA.....	21
11	OTROS SISTEMAS DE PLANTA.....	24
11.1	<i>Generador eléctrico de emergencia. SAI's.....</i>	<i>24</i>
11.2	<i>Aire de Instrumentación y servicios.....</i>	<i>24</i>
11.3	<i>Aguas oleosas.....</i>	<i>24</i>
11.4	<i>Gas Combustible.....</i>	<i>25</i>
11.5	<i>Agua de servicios generales y potable.....</i>	<i>25</i>
11.6	<i>Nitrógeno.....</i>	<i>25</i>
11.7	<i>Combustor.....</i>	<i>26</i>

<i>11.8</i>	<i>Sistemas de seguridad</i>	26
11.8.1	Detección de fugas	26
11.8.2	Sistema de protección contra incendio.....	26
11.8.3	Paro de emergencia.....	27

1 TANQUES DE ALMACENAMIENTO

1.1 Tecnología de los tanques de GNL

Existen distintos tipos de tecnologías aplicables para el almacenamiento y contención de GNL, bien sea en estructuras terrestres y offshore. Se citarán brevemente los distintos tipos de tanques que existen para el uso en plataformas offshore. Así, las distintas variantes de tanque se enmarcan en las distintas categorías definidas por el Código Internacional de Gaseros (CIG) de la Organización Marítima Internacional (IMO), de acuerdo a:

- I. **Tanques de membrana:** Carecen de sustentación propia, y están formados por una delgada capa a la que, a través del aislamiento, da soporte la estructura adyacente del casco. La membrana se proyecta de manera que las dilataciones y contracciones térmicas y de otra índole queden compensadas sin que esto imponga un esfuerzo excesivo.
- II. **Tanques independientes:** Son autosustentables. No forman parte de la estructura del buque/plataforma ni son esenciales en cuanto a la resistencia del mismo. Pueden ser de tres tipos:
 - a. *Tipo A y B:* La presión de vapor de diseño no debe exceder los 0,7 bar. Los primeros son lo que se calculan con formulación tradicional de resistencia de materiales, mientras que los segundos se calculan con métodos de cálculo avanzados (elementos finitos) o ensayos.
 - b. *Tipo C:* Recipientes a presión.
- III. **Tanque de semimembrana:** Son aquellos que carecen de sustentación propia cuando contienen carga y están formados por

un revestimiento soportado por la estructura adyacente del casco a través de su aislamiento.

- IV. **Tanques de aislamiento interno:** Son tanques estructurales o independientes que van forrados por el interior, de manera que el líquido está en contacto con este forrado. Este forrado interno, que no tiene sustentación propia, puede ser de materiales metálicos, no metálicos o materiales compuestos. En el caso de que solo tengan una barrera se denominan de Tipo 1 (el tanque exterior sería la barrera secundaria). Si tienen dos barreras de aislamiento claramente distinguibles son del tipo 2.
- V. **Tanques estructurales:** Son aquellos que forman parte del casco del buque/plataforma y están sometidos a los mismos esfuerzos que el resto de la estructura adyacente. Su utilización está muy limitada y no se emplea para contención de GNL.

1.2 Elección del tipo de tanque y características

Después de ver los distintos tipos de tanques que es posible utilizar, se ha decidido elegir un tanque independiente autoportante de la empresa IHI. Las dos razones básicas para esta elección han sido:

- ✓ **Tiempos de construcción.** Estos tanques que tienen estructura propia pueden ser construidos en paralelo a la edificación de la GBS para luego ser introducidos por la parte superior antes del cierre total de la plataforma, minimizando el tiempo total del proyecto.
- ✓ **Temas de limpieza en la zona de construcción.** Los tanques de membrana muy utilizados en las plantas de regasificación terrestres y también factibles para este tipo, requieren unas

condiciones de limpieza especiales dentro de la construcción de hormigón, difícilmente alcanzables en las instalaciones donde se suele llevar a cabo la construcción de una GBS.

Así, los tanques de GNL usados están basados en lo que se conoce como sistema de tanques independientes autoportantes de forma prismática tipo B (SPB), de la Organización Marítima Internacional (IMO) (*“Self-supporting Prismatic-shape IMO type B”*) en su *Código Internacional para la Construcción y Equipamiento de Buques que Transportan Gases Licuados a Granel (Código para Buques Transportadores de Gas de IMO)*. El tanque SPB de la compañía IHI consiste en una estructura autoportante de pared reforzada en forma de prisma rectangular que tiene la suficiente resistencia como para aguantar las cargas generadas por el GNL. En la Figura 1.1 se muestra una imagen de un tanque de estas características.



Figura 1.1. Tanque IHI SPB tipo B para GNL

Los tanques SPB son totalmente independientes del casco de hormigón de la GBS. La parte superior del tanque, las paredes laterales y del fondo están reforzadas principalmente por vigas longitudinales que están soportadas por marcos de red transversal y travesaños. Tabiques internos de línea central y de obstrucción controlan la formación de remolinos y movimientos bruscos del contenido. Estos tanques están diseñados teniendo en cuenta las cargas

debidas a fuerzas sísmicas, presiones internas y externas, cargas térmicas, peso del tanque y del GNL, peso del aislamiento y cargas de los accesorios. Para dicho diseño, se realiza un análisis tridimensional completo de esfuerzos mediante elementos finitos para comprobar su integridad estructural.

En cuanto al sistema de aislamiento térmico, consiste en paneles independientes rígidos de espuma de poliuretano o poliestireno. Se proporcionan empalmes amortiguadores entre los paneles de aislamiento para absorber el movimiento relativo entre el aislamiento y el tanque de GNL debido a la contracción y expansión térmica.

También, el aislamiento está incorporado en el sistema de detección de fugas y proporciona una barrera contra salpicaduras para proteger el casco de la GBS contra la exposición al GNL. En caso de presentarse una fuga, el aislamiento actúa para retener el líquido y dirigirlo hacia abajo a una bandeja de goteo de acero inoxidable debajo del tanque. El espacio de bodega está normalmente lleno de gas nitrógeno y está provisto con sistemas de detección de gas para fines de seguridad. También puede ser equipado con sistemas detectores de humedad y agua.

Todas las conexiones del tanque para llenado y vaciado se harán a través de los domos del tanque en el techo, sin penetraciones por debajo del nivel del líquido. El diseño del tanque permite la descarga de GNL en la zona superior o inferior del tanque de almacenamiento, para evitar problemas de inversión y roll-over. La descarga por la parte inferior se hace a través de una columna reguladora dentro del tanque, y la descarga por la parte superior se efectúa a través de una manguera de alimentación de tanque separada a un deflector. En la Figura 1.2 se muestra un corte transversal del tanque donde se muestran las entradas y bajantes de tuberías al tanque.

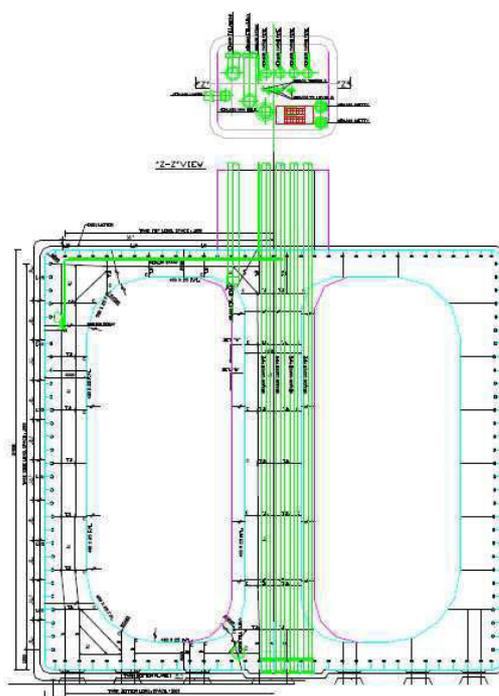


Figura 1.2. Representación de la entrada al tanque y tuberías interiores

En lo referente a la instalación de los tanques dentro de la GBS, después de completar la construcción de la estructura de hormigón de la GBS (paredes laterales y fondo), así como de los cojinetes donde irá apoyado el tanque se introducirá por la parte superior del tanque para luego proceder a la colocación de la parte superior de la GBS.

Los empalmes entre las secciones de techo y con el GBS serán colados y sellados para formar una barrera a prueba de vapor alrededor del tanque de GNL. El aislamiento de los tanques de GNL se instalará en este espacio protegido. El material aislante llegará como elementos prefabricados, será colocado y fijado a la superficie del tanque de almacenamiento de GNL.

Los tanques de GNL tipo SPB están soportados sobre diversos cojinetes colocados sobre zapatas de soporte de hormigón que se extienden por encima del fondo de hormigón de la GBS. Se proporciona una distancia de 1,2 m a 1,7 m entre los tanques de GNL y las paredes laterales de hormigón para

acomodar un espacio de trabajo de aislamiento y acceso para trabajo de inspección y mantenimiento.

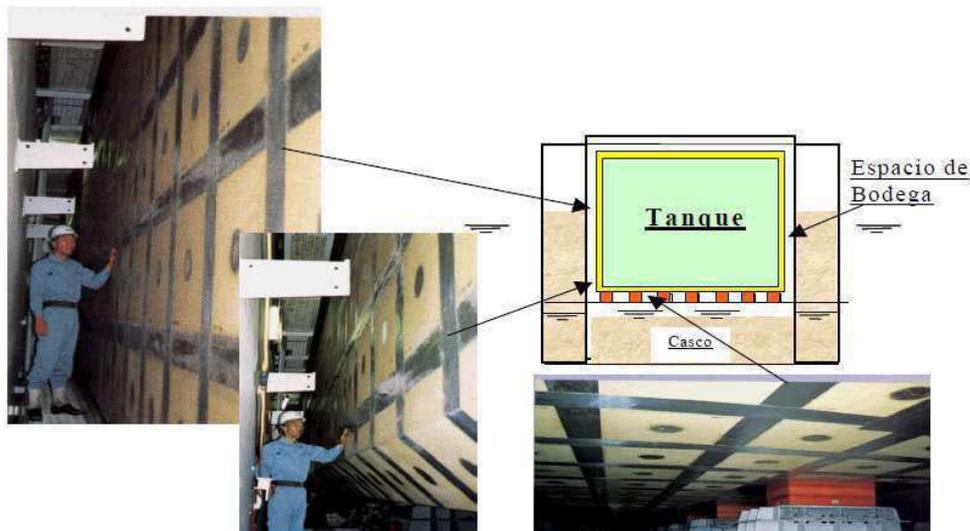


Figura 1.3. Trabajos de inspección en el espacio entre tanque y estructura externa

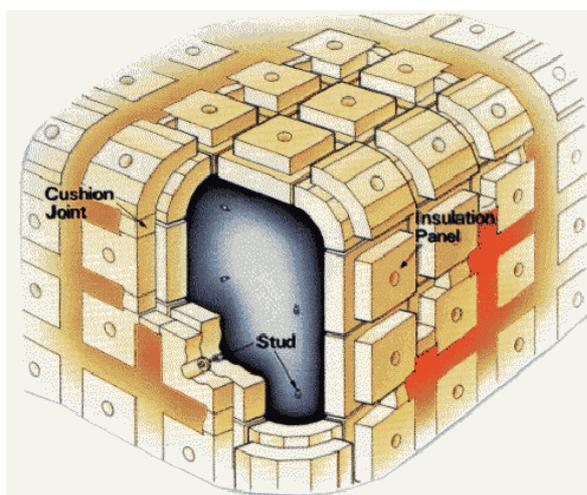


Figura 1.4. Sistema de aislamiento de los tanques SPB

En la Figura 1.5 y en la [¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.](#) se muestra un tanque SPB para GNL típico y un corte transversal de los soportes bajo el tanque. Las zapatas permiten la libre contracción y expansión termal del tanque. Estos soportes, junto con algunos calzos en las líneas centrales de los tanques, impiden el movimiento transversal y longitudinal del

tanque, y eliminan las grandes tensiones térmicas en la estructura del tanque al permitir la libre contracción y expansión del tanque.

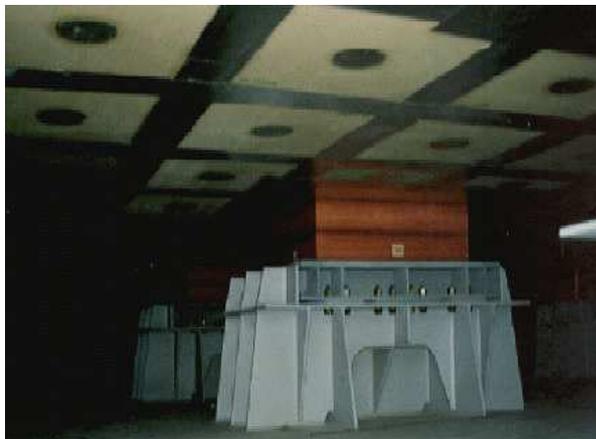


Figura 1.5. Soporte del tanque

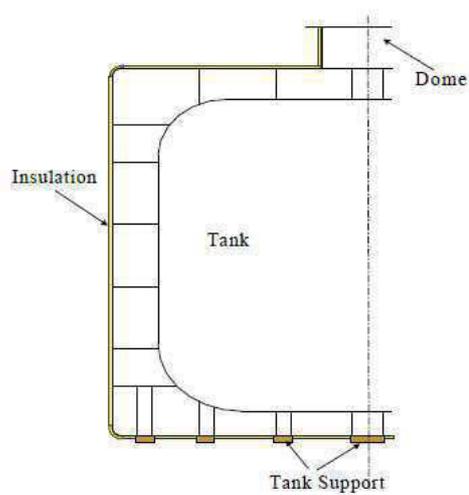


Figura 1.6. Corte de una sección del tanque

1.2.1 Tanques de almacenamiento T-211 y T-221

Número de equipos: 2

Tabla 1.1. Características y dimensiones de los tanques T-211 y T-221

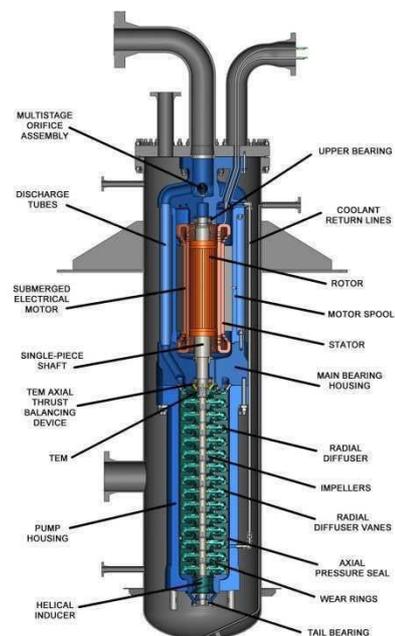
TANQUES T-211 Y T-221	
$T_{\text{diseño}}$ (°C)	-170
$P_{\text{diseño}}$ (Pa)	$1,25 \cdot 10^5$
DIMENSIONES	
Alto (m)	30
Ancho (m)	35
Largo (m)	155
Capacidad nominal (m ³)	150.000
Material	Acero AISI 304
k_{acero} (W·m ⁻¹ K ⁻¹)	16,2
AISLANTE	
Material	PUF
K_{PUF} (W·m ⁻¹ K ⁻¹)	0,020
Espesor aislante (m)	0,5

2 SISTEMA DE BOMBEO PRIMARIO

Las bombas primarias P-211A/B y P-221A/B están situadas dentro de los tanques de almacenamiento, sumergidas en el propio líquido. Son bombas centrífugas. Las características principales de estas bombas se muestran en la Tabla 2.1. La casa seleccionada para el suministro de las mismas será Ebara por su amplia experiencia en el sector. Son bombas de fabricación a medida según especificación de ingeniería.

Tabla 2.1. Características principales de las bombas primarias

Condiciones de diseño	
$Q_{\text{diseño}}$ (m ³ /h)	465
T (°C)	-160
ρ (kg/m ³)	458
h_1 (m)	3
h_2 (m)	48
P_1 (Pa)	10^5
P_2 (Pa)	10^6
η (%)	70
ΣF_1 (Pa)	0
ΣF_2 (Pa)	5.122
<hr/>	
W (J/kg)	2.417
Potencia (kW)	212
NPSH _{disponible} (m)	25



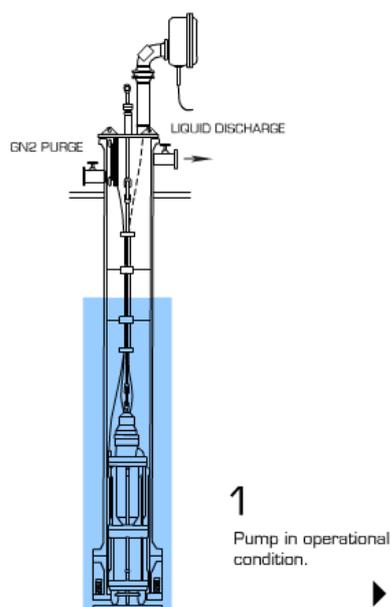


Figura 2.7. Bomba criogénica primaria Ebara

3 COMPRESORES DE BOIL-OFF GAS (BOG) K-301A/B/C

La finalidad de estos equipos es comprimir el BOG para poder reutilizarlo. Los equipos seleccionados serán de la empresa Burckhardt Compression. Será un compresor de pistón laberintico. Este tipo de compresores debido a la baja temperatura del gas, llevará asociado un sistema calentador de aceite. Este sistema se basará en una circulación continua de agua glicol a temperatura ambiente. Si la temperatura baja de un rango peligroso de trabajo y con el fin de evitar congelaciones y garantizar la lubricación se instalarán resistencias de caldeo al sistema de agua glicol.

Tabla 3.1. Características de los compresores K-301 A/B/C

COMPRESORES K-301 A/B/C	
T_1 (K)	133 K
P_1 (Pa)	126.000
T_2 (K)	238,08

P_2 (Pa)	1.126.000
H_{adiab} (kJ/kg)	204,47
Potencia _{teórica} (kW)	244,61
η	75%
Potencia _{real} (kW)	326,15
FLUIDO; BOG	
Flujo másico (kg/h)	4.313
Densidad (kg/m ³)	9,61
$k=C_p/C_v$	1,362

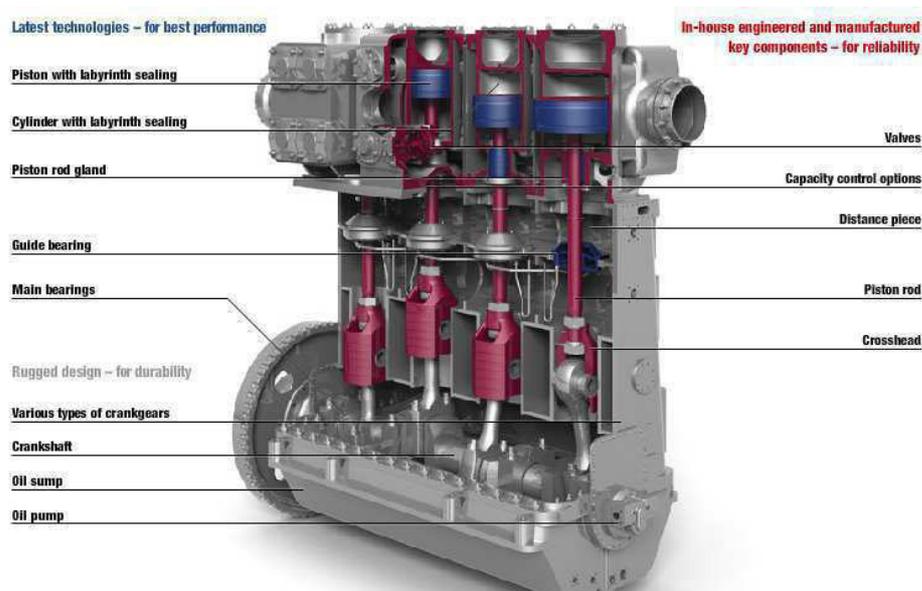


Figura 3.8. Compresor laberíntico Burckhardt

4 SEPARADORES DE LÍQUIDO

La finalidad de estos equipos es separar los posibles restos de líquido que pueden ser arrastrados por la corriente de vapor antes de entrar en la etapa de compresión. (V-301), y para no enviar líquido durante el retorno de

vapor al barco (V-102). Estos separadores no son comerciales y serán fabricados a medida según características de ingeniería.

Tabla 4.1. Características del separador V-301

SEPARADOR V-301	
Diámetro $\equiv D_v$ (m)	1,5
Nivel de líquido (m)	0,33
Altura entrada de vapor [desde nivel de líquido] (m)	0,75
Altura rejilla separadora [desde nivel de entrada de vapor] (m)	1,5
Distancia rejilla separadora-salida gas (m)	0,75
Altura total (m)	3,33
Material	Acero AISI 304

Tabla 4.2. Características del separador V-102

SEPARADOR V-102	
Diámetro $\equiv D_v$ (m)	1,25
Nivel de líquido (m)	0,33
Altura entrada de vapor [desde nivel de líquido] (m)	0,63
Altura rejilla separadora [desde nivel de entrada de vapor] (m)	1,25
Distancia rejilla separadora-salida gas (m)	0,63
Altura total (m)	2,84
Material	Acero AISI 304



Figura 4.9. Separadores de Líquido

5 INTERCAMBIADORES DE CALOR DE CARCASA Y TUBOS

Estos equipos se usan para atemperar las corrientes de vapor que circulan hacia el brazo de vapor (E-102) y hacia la etapa de compresión (E-301). Como se puede ver, utilizan como fluido refrigerante una parte del GNL que circula por la terminal.

Tabla 5.1. Resumen de características del cambiador E-102

INTERCAMBIADOR E-102	
Tipo de intercambiador	Carcasa y tubos con cabezal flotante
Material	Acero AISI 304
Número de pasos por tubo	2
Número de pasos por carcasa	1

Pitch (m)	0,075
Standard tubos	Sch 40
Número de tubos por paso	46
Longitud de los tubos (m)	4,88
Diámetro externo de los tubos (m)	0,0603
Diámetro interno de los tubos (m)	0,0525
U ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	59
Caída de presión en tubos (kPa)	0,01
Caída de presión en carcasa (kPa)	1,63

FLUIDOS

	CARCASA	TUBOS
$T_{entrada}$ (K)	163	113
T_{salida} (K)	133	123
T_m (K)	148	118
P (kPa)	126	500
ρ_m (kg/m^3)	1,996	454
μ_m (Pa s)	10^{-5}	$1,34 \cdot 10^{-4}$
k_m ($W m^{-1} K^{-1}$)	0,012	0,187
C_{Pm} ($kJ kg^{-1} K^{-1}$)	2,026	3,124
Caudal (kg/h)	7.984	15.234

Tabla 5.2. Resumen de características del cambiador E-301

INTERCAMBIADOR E-301

Tipo de intercambiador	Carcasa y tubos con cabezal flotante
Material	Acero AISI 304
Número de pasos por tubo	2
Número de pasos por carcasa	1
Pitch (m)	0,075
Standard tubos	Sch 40
Número de tubos por paso	87
Longitud de los tubos (m)	4,88

Diámetro externo de los tubos (m)	0,0483	
Diámetro interno de los tubos (m)	0,0409	
U ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	79	
Caída de presión en tubos (kPa)	0,019	
Caída de presión en carcasa (kPa)	4,4	
FLUIDOS		
	CARCASA	TUBOS
$T_{entrada}$ (K)	183	113
T_{salida} (K)	133	123
T_m (K)	158	118
P (kPa)	126	1000
ρ_m (kg/m^3)	1,996	454
μ_m (Pa s)	10^{-5}	$1,34 \cdot 10^{-4}$
k_m ($W m^{-1} K^{-1}$)	0,012	0,187
C_{Pm} ($kJ kg^{-1} K^{-1}$)	2,011	3,124
Caudal (kg/h)	12.939	40.656

6 VAPORIZADORES

En la terminal se dispone de tres vaporizadores, dos de agua de mar, también denominados de carcasa abierta (E-410 y E-420), y un vaporizador de combustión sumergida (E-430).

Tabla 6.1. Características principales E-410 y E-420

DIMENSIONES VAPORIZADORES E-410 Y E-420	
Material	Aluminio
Número de paneles	8
Número de tubos/panel	86
Dimensiones del panel (Largo/Ancho/Alto)	2,58 m/0,01 m/6 m

Diámetro interno del tubo interno	0,051 m
Diámetro interno del tubo externo	0,098 m
Espesor tubo interno	0,008 m
Espesor tubo externo	0,01m

FLUIDOS

Caudal (kg/h)	150.000	5.490.194
Presión (bar)	85	2
T _{entrada} (°C)	-156	15
T _{salida} (°C)	3	9
λ (kJ/kg)	400	
C _P (kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹)	2 _(gas) ; 3,6 _(líquido)	4,69
ρ (kg/m ³)	1,879 _(gas) ; 454 _(líquido)	1025
k (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	0,04 _(gas) ; 0,19 _(líquido)	0,58

El funcionamiento del vaporizador de combustión sumergida consiste en un quemador de fuel-gas (aunque en condiciones normales en la planta diseñada se quemará BOG) que caliente un baño de agua donde se encuentra un serpentín por el que circula el GNL que se vaporiza. Es un equipo que se usará únicamente cuando no se disponga de agua de mar o alguno de los ORV se encuentre fuera de servicio. Es capaz de transformar también 150.000 kg/h de GNL. El mantenimiento de este equipo es más complejo que el de los ORV, ya que hay que mantener la acidez del baño, y otra serie de parámetros que no son de importancia en los otros vaporizadores.

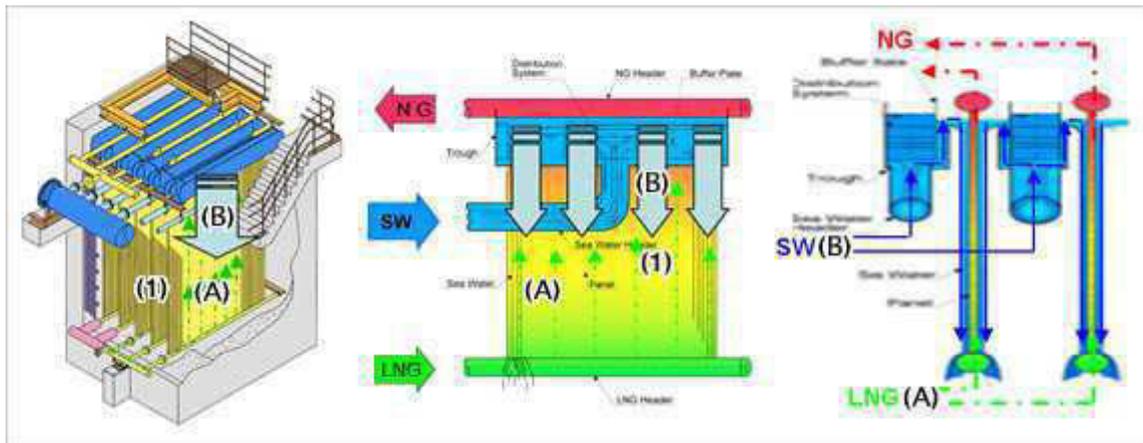


Figura 2.0. Evaporadores de Carcasa abierta (ORV's)

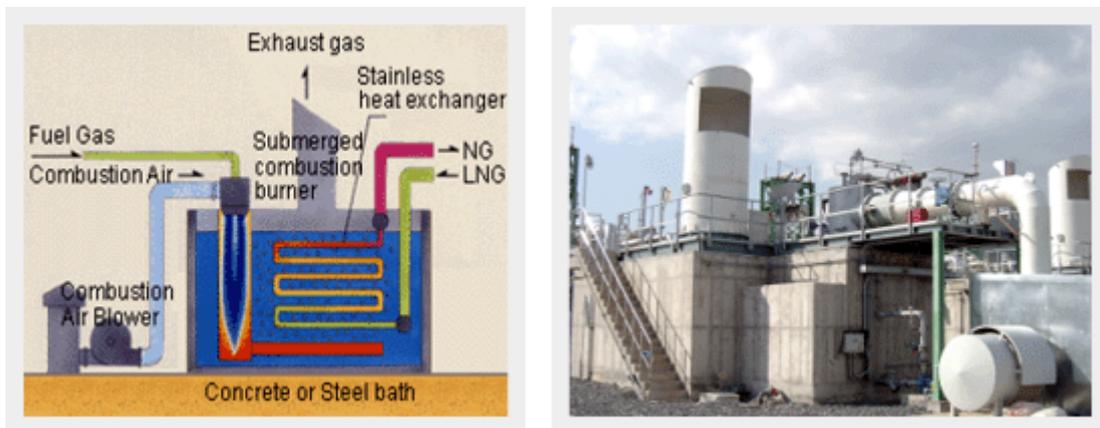


Figura 2.1. Evaporador de combustión sumergida (SCV)

7 RELICUADOR R-401

Este equipo sirve para recondensar el BOG y permitir la succión de las bombas secundarias para el posterior envío de líquido a vaporizadores. En la Tabla 7.1 se muestran sus características principales.

Tabla 7.1. Características del R-401

Zona de condensación (cabeza)	
L (m)	1,5
d (m)	1,5
V (m ³)	2,6
Relleno	
Anillos rasching	
Diámetro	3 in (76 mm)
Densidad	400 (kg/m ³)
Área especif.	72 m ² /m ³
Zona de residencia (colas)	
D (m)	6,3
L (m)	12,6
L_{TOTAL} (m)	19

Material: Acero AISI 304



Figura 2.2. Relicador

8 BOMBAS SECUNDARIAS P-411A/B/C/D

Su misión es aumentar la presión del GNL hasta la de la línea de emisión y enviar dicho líquido desde el relicuador hasta los vaporizadores. Son bombas de tecnología idéntica a las primarias descritas anteriormente.

Tabla 8.1. Condiciones de diseño de las bombas secundarias

Condiciones de diseño	
$Q_{\text{diseño}}$ (m ³ /h)	390
T (°C)	-156
ρ (kg/m ³)	458
h_1 (m)	6
h_2 (m)	8
P_1 (Pa)	10^6
P_2 (Pa)	$8,5 \cdot 10^6$
η (%)	70
ΣF_1 (Pa)	0
ΣF_2 (Pa)	3.840

W (J/kg)	16.406
Potencia (kW)	1.200
NPSH _{disponible} (m)	228

9 BOMBAS DE AGUA DE MAR P-501A/B/C

Son necesarias debido al diseño de la terminal, ya que el equipo predilecto en esta planta para llevar a cabo la vaporización son los ORV. Estas bombas, como ya se ha dicho, son bombas sumergidas que están localizadas a 10 m de profundidad en una losa de hormigón recubierta por una malla metálica que sirve de filtro muy burdo pero suficiente, debido a las características del equipo de bombeo. Estas bombas son fundamentales para el buen funcionamiento de la planta a caudales de emisión elevados

Tabla 9.1. Condiciones de diseño de las bombas de agua de mar

Condiciones de diseño	
$Q_{\text{diseño}}$ (m ³ /h)	5.360
T (°C)	15
ρ (kg/m ³)	1.025
h_1 (m)	10
h_2 (m)	23
P_1 (Pa)	116.392
P_2 (Pa)	$2 \cdot 10^5$
η (%)	70
ΣF_1 (Pa)	0
ΣF_2 (Pa)	6.521
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>	
W (J/kg)	210
Potencia (kW)	474
NPSH _{disponible} (m)	21,3

10 SISTEMA ELÉCTRICO DE PLANTA

La GBS se alimenta de una línea de 132KV procedente de la Central Térmica de Fuel y Ciclo combinado de Barranco de Tirajana. A través de una línea submarina de alta tensión se da suministro a la planta. Esta línea es suministrada por Endesa, empresa suministradora. La GBS dispone de una Subestación Aislada en Gas (GIS) donde acomete este línea. La GIS dispone de cinco posiciones:

- ✓ Posición TRAF0 1
- ✓ Posición TRAF0 2
- ✓ Posición Línea de entrada
- ✓ Posición Línea Auxiliar o Reserva
- ✓ Posición Acoplamiento

La GIS será de la casa AREVA modelo F35 145KV y tendrá las siguientes características:

1. GENERAL SUBSTATION PLANT DATA

Design		Indoor use
Altitude above sea level		≤1000 m
Ambient temperature	Indoor	-25°C ... +40 °C
Free of partial discharge		<10 pC
Rated voltage		132 kV
Rated maximum voltage		145 kV
Rated frequency		50 Hz
Rated normal current	feeder bay(s) transformer bay(s) busbars and coupling bay	2500 A 2500 A 2500 A
Annual gas loss		<0.5 Vol. % per year for total GIS system
Rated power frequency withstand (50 Hz, 1 min.)		
- To earth		275 kV
- Secondary control wiring		2 kV
Rated lightning impulse withstand voltage		
- To earth (1,2 / 50 μs)		650 kV
Rated short time current 1 s (therm.)		31.5 kA
Rated permissible peak withstand current sw (dyn.)		80 kA
Temperature rise at rated normal current		
- Conductor		65 °C
- Enclosure		30 °C
Test pressure of enclosure		22 bar (gauge)
Enclosure design code		CENELEC
Colour/painting of GIS		
- Encapsulation		RAL 7038
- Supporting structures		Hot dip galvanized
- Local control cabinets		RAL 7032

GAS PRESSURE (gauge pressure at 20°C)

Rated operating pressure of bursting discs	12.5 ± 1.2 bar
Rated operating pressure	6.3 bar
Refill pressure	5.8 bar
*) Minimum operating pressure	5.5 bar
*) The guaranteed values are met at this pressure:	
Filling and operating characteristics	H47.022.351
Densimeter (Wika)	H47.249.917-01



Life-cycle features

- Safe operation •
- Long life time •
- High reliability •
- Light maintenance schedule •
- Easy extensions •
- Low environmental impact •
- Smart Grid ready •

Figura 2.3. GIS

11 OTROS SISTEMAS DE PLANTA

A mayores de los equipos principales ya citados en la terminal se cuenta con:

11.1 Generador eléctrico de emergencia. SAI's

Se contará con un generador de emergencia de 5MVA. Este generador estará equipado con un tanque de combustible con una capacidad de 11000l de diesel. En caso de fallo en la alimentación principal de la planta entrará a funcionar este generador que aportará tensión a los elementos principales de planta de 400V. Este generador a su vez dará alimentación a un sistema de UPS's, en caso de fallo del generador la UPS's garantizarán alimentación de 400V a los sistemas principales de planta, al menos durante 70 Horas. Todos los sistemas eléctricos estarán diseñados conforme a las normas de protección contra-incendios de Estados Unidos NFPA 70.

11.2 Aire de Instrumentación y servicios

Es sistema de aire de instrumentación y servicios suministra aire a los sistemas de control. Estos sistemas permiten continuar la operación de los controles durante cualquier escasez de energía de emergencia o condiciones de paro.

11.3 Aguas oleosas

Se recogerán los posibles drenajes de aceites o agentes contaminantes en una piscina de decantación. Antes de hacer el vertido al mar, pasarán por un separador agua aceite tipo interceptor de placa corrugado para la separación. El aceite se extraerá y almacenará en un tanque de retención de aceite. El agua limpia del separador será monitorizada en continuo en cuanto al contenido de aceite antes de ser descargada al mar.

11.4 Gas Combustible

El sistema de gas combustible suministrará suficiente gas para la generación de energía, calefacción y otros usos similares. Se usará GNL evaporado a 6 Bar para el combustible del SCV.

11.5 Agua de servicios generales y potable

El sistema de agua de servicios generales consta de dos bombas con motores eléctricos con una capacidad de flujo de entrada del 100% del agua de mar requerida. El agua de mar entrará a las bombas a través de unas mallas gruesas. Antes de esta agua pasará por unos filtros auto limpiante. Estas bombas alimentarán al sistema de electrocloración, al sistema de agua potable y las estaciones de servicios y lavado. El agua potable y de servicio serán generadas mediante el uso de unidades desalinizadoras empleando un proceso de ósmosis inversa o destilación de vapor. El uso principal del agua potable será el soporte del personal y para limpieza y lavado.

11.6 Nitrógeno

El espacio entre la pared exterior de metal de cada tanque de GNL y la pared de contención de hormigón interna de la GBS se llenará con gas nitrógeno. El gas nitrógeno es un gas inerte que se emplea extensamente en la industria. El nitrógeno formará una capa rodeando los tanques de GNL que se monitoriza constantemente para detectar la posible presencia de metano, el componente principal del gas natural. Se producirá nitrógeno por medio de una planta de nitrógeno líquido situada en el exterior de la plataforma. Está disponible un evaporador para dar servicio a los tanques y sistemas de planta.

11.7 Combustor

Se instalará un quemador de gas de emergencia de alta y baja presión con una sola torre, en el extremo de la GBS de proceso para cumplir las normas de seguridad aplicables en caso de presentarse un eventual problema con el proceso. El quemador estará orientado de tal manera que los vientos predominantes dirijan la pluma de emisiones alejándola de la instalación. El quemador estará equipado con múltiples pilotos y encendedores electrónicos. El quemador será purgado continuamente por nitrógeno para prevenir la infiltración de aire a través de las puntas del quemador.

11.8 Sistemas de seguridad

11.8.1 Detección de fugas

Es sistema de detección de fugas de GNL está diseñado para detectar derrames y para ejecutar el paro de la instalación en menos de dos minutos después de haber detectado el derrame. En el caso, poco probable de un derrame, el producto derramado se contendrá en un contenedor de derrames. Las fugas serán detectadas mediante el uso de detectores de gas combustible ubicados dentro de la instalación.

11.8.2 Sistema de protección contra incendio

Se instalarán sistema de diluvio de agua de mar en puntos apropiados dentro de la instalación. Los sistemas de diluvio serán activados automáticamente por el sistema de detección de incendios, y se pueden activar manualmente en posiciones apropiadas dentro de la planta. Se instalarán extintores de polvo químico en ubicaciones apropiadas. Los sistemas de lucha contra incendio y paro de emergencia serán activados automáticamente por detectores de gas combustible, derrame y llama.

Monitores de agua contraincendios y estaciones de mangueras, con espuma flotante de película acuosa se instalarán en ubicaciones apropiadas, como parte de la red principal de agua contra incendio, que incluirán válvulas de aislamiento. El sistema de diluvio será un sistema de agua dulce o de mar, el cual se mantendrá presurizado por una bomba Jockey.

11.8.3 Paro de emergencia

Se proporcionarán sistemas de paro de emergencia (ESD) y despresurización e emergencia para proteger al personal, equipos de la instalación y el medio ambiente en caso de emergencia, como por ejemplo un incendio, fuga de hidrocarburos, fallo de proceso, etc.... El sistema de paro de emergencia aislará la unida/sistema donde esté sucediendo el incidente de las unidades adyacentes. El sistema de despresurización de emergencia reducirá presión del sistema por medio del desfogue al quemador de alta presión en caso de una emergencia. El sistema de paro de emergencia será activado por detectores de incendio y gas, y también puede ser activado manualmente en las estaciones con interruptores de paro de emergencia situados en lugares estratégicos.

TÍTULO: PLANTA DE REGASIFICIÓN OFFSHORE DE GNL

ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA

PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N

15405 - FERROL

FECHA: JUNIO DE 2014

AUTOR: EL ALUMNO

Fdo.: JUAN SEBASTIAN REY PIÑON

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	2
2	CAPITAL	2
	2.1 <i>Capital inmovilizado.....</i>	2
	2.2 <i>Capital circulante.....</i>	2
3	COSTES	3
	3.1 <i>Costes fijos.....</i>	3
	3.1.1 <i>Mano de obra directa.....</i>	3
	3.1.2 <i>Otros costes fijos</i>	3
	3.2 <i>Costes variables.....</i>	4
4	INGRESOS	5
5	AMORTIZACIÓN.....	5
6	FLUJOS DE CAJA.....	5
7	VALORACIÓN DEL PROYECTO.....	9
	7.1 <i>Valor actual neto (VAN).....</i>	9
	7.2 <i>Tasa interna de retorno.....</i>	10
	7.3 <i>Tiempo de retorno.....</i>	10

1 INTRODUCCIÓN

La finalidad de este estudio es la de realizar un análisis de carácter financiero para corroborar la viabilidad económica de este proyecto.

Para este fin, se evaluará el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR), y el período de retorno del capital o payback.

2 CAPITAL

Dentro del capital se distingue entre el denominado *capital inmovilizado* y el *capital circulante*.

2.1 Capital inmovilizado

El *capital inmovilizado* está formado por elementos patrimoniales tangibles que se utilizan en la actividad productiva de la empresa. El inmovilizado se corresponde con el presupuesto del presente proyecto que asciende a **381.870.000 €**.

Tabla 2.1. Capital inmovilizado

	Descripción	Importe
I.	Obra civil, transporte e instalación de la terminal	160.200.000 €
II.	Instalaciones mecánicas (Equipos)	104.940.000 €
III.	Instalación eléctrica	12.000.000 €
IV.	Tuberías, válvulas, accesorios y aislamientos	86.300.000 €
V.	Instrumentación y control	9.200.000 €

VI.	Seguridad y salud	2.000.000 €
VII.	Varios	7.230.000 €
TOTAL		381.870.000 €

2.2 Capital circulante

Como capital circulante se conoce a la parte del capital productivo cuyo valor se transfiere totalmente al producto comercializado y revierte por completo al capitalista, en forma de dinero después de realizada.

El capital circulante coincidirá con el 10% del capital total y se recupera al final del proyecto.

El valor del *capital circulante* para este proyecto asciende a **42.430.000 €**.

Como resultado de la suma del capital inmovilizado y del capital circulante se obtiene el *capital total* que asciende a **424.300.000 €**.

Tabla 2.2. Resumen del desglose de capital

Capital inmovilizado	381.870.000 €
Capital circulante	42.430.000 €
CAPITAL TOTAL	424.300.000 €

3 COSTES

En este apartado de la viabilidad económica se realizará una estimación de los costes derivados de la producción de la instalación regasificadora proyectada. El desglose se dividirá en costes fijos y costes variables.

3.1 Costes fijos

En este apartado se incluyen aquellos gastos que se generan con o en ausencia de producción. Son aquellos que no dependen de la operatividad de la terminal.

Como costes fijos se consideran los costes de mantenimiento que se han estimado en un 5% de la inversión total, los costes de mano de obra directa, y otros costes como laboratorio, supervisión, dirección de planta, seguro que se estiman de forma factorial respecto a la mano de obra directa y a la inversión total. Esto se explica con más detalle en la Tabla 3.1.

3.1.1 Mano de obra directa

Se considera que se necesitaran un total de 50 trabajadores en plantilla, cuyo salario medio se estima en 25.000 €/año. Por tanto, los costes derivados de este concepto ascenderán a **1.250.000 €/año**.

3.1.2 Otros costes fijos

En la Tabla 3.1 se desglosan otros costes considerados a parte de la mano de obra directa.

Tabla 3.1. Desglose de costes fijos

Partida	Factor	Respecto a	Precio total
Dirección de planta	0,5	Mano de obra directa	625.000 €
Supervisión	0,2	Mano de obra directa	250.000 €
Laboratorio	0,2	Mano de obra directa	250.000 €
Cargas capital	0,015	Inversión total	6.364.500 €
Seguros	0,01	Inversión total	4.243.000 €
Costes de mantenimiento	0,05	Inversión total	21.215.000 €
PARTIDA TOTAL			32.947.500 €

Por tanto, los *costes fijos totales* ascienden a **34.197.500 €**

3.2 Costes variables

Son los costes anuales imputables al ciclo productivo. Estos costes tienen en cuenta la partida de gastos anuales de materias primas y servicios, agua y electricidad.

Tabla 3.2. Coste de materias primas y servicios

Materia prima	Consumo (m ³ /año)	Precio (€/m ³)	Importe
Nitrógeno líquido	1000	600	600.000 €
Hipoclorito sódico	1.170	360	421.200 €
PARTIDA TOTAL			1.021.200 €

En cuanto a consumo eléctrico, se considera un consumo de 21.900.000 kWh, con un precio medio de 0,07 €/kWh para grandes consumidores se obtiene un total de **1.533.000 €/año**. Del mismo modo, se estima un consumo de fuel gas por seguridad para el arranque del SCV de **300.000 €/año**.

Por tanto, los *costes variables* ascienden a **1.833.000 €**

Por tanto, los *costes totales* serán la suma de *costes fijos y variables*, que ascienden a **36.030.500 €**

4 INGRESOS

Los ingresos de las plantas de regasificación proceden de la retribución de las instalaciones de transporte y regasificación incluidas en el régimen retributivo del sistema gasístico por medio de la Orden de 23 de diciembre de 2008 y actualizada el 30 de diciembre de 2013.

Las retribuciones han sido consideradas tal y como se muestran en la Tabla 4.1

Tabla 4.1. Retribuciones por regasificación

Denominación	Retribución
Capacidad de almacenamiento de 300.000 m ³ de GNL	40.140.317 €
Capacidad de emisión 420.000 N·m ³ /h	14.087.000 €
Atraque de buques	11.215.000 €
TOTAL	65.442.317 €

Por tanto, los ingresos anuales ascienden a **65.442.317 €**

5 AMORTIZACIÓN

La amortización se emplea con la finalidad de que un elemento de la instalación una vez pase su periodo de vida útil pueda ser repuesto. Se considera un periodo de amortización de 15 años.

6 FLUJOS DE CAJA

Una vez conocidos los ingresos y los gastos derivados del proceso productivo, es posible realizar el cálculo de los flujos de caja.

Se entiende por flujo de caja (cash-flow) la diferencia entre los ingresos y los costes que se producen en un periodo de tiempo determinado. El modo de calcularlo se muestra en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Esquema del cálculo de los flujos de caja

+INGRESOS POR VENTAS
-Costes de explotación
-costes de gestión
-Dotación a la amortización
BENEFICIO ANTES DE INTERESES
-Intereses
BENEFICIO ANTES DE IMPUESTOS
-Impuestos
BENEFICIO NETO
+Dotación a la amortización
FLUJO NETO DE CAJA

Se pretende amortizar los costes fijos totales en quince años. Para ello, se necesita pagar una cuota de **25.458.000 €** durante quince años para hacer nulo el capital pendiente.

Para el cálculo de los impuestos se emplea la ecuación (6.1)

$$\text{Impuestos}=(R-d \cdot I) \cdot t \quad (6.1)$$

donde:

✓ $R \equiv \text{Beneficios brutos} = \text{Ventas} - \text{Costes totales}$

- ✓ $d \equiv$ Factor anual de pérdida de valor del inmovilizado ($d=0,067$)
- ✓ $I \equiv$ Capital inmovilizado
- ✓ $t \equiv$ Impuestos, $\text{€}/\text{€}_{\text{percibido}}$. ($t=0,30$)

La tasa de inflación se considerará del 3,5%. Los flujos netos de caja durante 15 años se muestran en las Tabla 6.2 hasta la Tabla 6.5.

Tabla 6.2. Flujos de caja obtenidos durante 15 años

AÑO	1	2	3	4
Ingresos por Ventas	65.442.317 €	67.732.798 €	70.103.446 €	72.557.067 €
Costes	36.030.500 €	37.291.568 €	38.596.772 €	39.947.659 €
Beneficio bruto	29.411.817 €	30.441.231 €	31.506.674 €	32.609.407 €
Impuestos	1.186.145 €	1.494.969 €	1.814.602 €	2.145.422 €
Amortización	25.458.000 €	25.458.000 €	25.458.000 €	25.458.000 €
Beneficio neto	2.767.672 €	2.864.540 €	2.964.799 €	3.068.567 €
Dotación a la amortización	25.458.000 €	25.458.000 €	25.458.000 €	25.458.000 €
Flujo neto de caja	28.225.672 €	29.213.570 €	30.236.045 €	31.294.307 €
Acumulado	-353.644.328 €	-324.430.758 €	-294.194.712 €	-262.900.405 €

Tabla 6.3. Flujos de caja obtenidos durante 15 años (Continuación)

AÑO	5	6	7	8
Ingresos por Ventas	75.096.564 €	77.724.944 €	80.445.317 €	83.260.903 €
Costes	41.345.827 €	42.792.931 €	44.290.684 €	45.840.858 €
Beneficio bruto	33.750.736 €	34.932.012 €	36.154.633 €	37.420.045 €
Impuestos	2.487.821 €	2.842.204 €	3.208.990 €	3.588.613 €
Amortización	25.458.000 €	25.458.000 €	25.458.000 €	25.458.000 €
Beneficio neto	3.175.967 €	3.287.126 €	3.402.175 €	3.521.252 €
Dotación a la	25.458.000 €	25.458.000 €	25.458.000 €	25.458.000 €

amortización				
Flujo neto de caja	32.389.608 €	33.523.244 €	34.696.558 €	35.910.937 €
Acumulado	-353.644.328 €	-324.430.758 €	-294.194.712 €	-262.900.405 €

Tabla 6.4. Flujos de caja obtenidos durante 15 años (Continuación)

AÑO	9	10	11	12
Ingresos por Ventas	86.175.034 €	89.191.161 €	92.312.851 €	95.543.801 €
Costes	47.445.288 €	49.105.873 €	50.824.579 €	52.603.439 €
Beneficio bruto	38.729.746 €	40.085.288 €	41.488.273 €	42.940.362 €
Impuestos	3.981.524 €	4.388.186 €	4.809.082 €	5.244.709 €
Amortización	25.458.000 €	25.458.000 €	25.458.000 €	25.458.000 €
Beneficio neto	3.644.495 €	3.772.053 €	3.904.075 €	4.040.717 €
Dotación a la amortización	25.458.000 €	25.458.000 €	25.458.000 €	25.458.000 €
Flujo neto de caja	37.167.820 €	38.468.694 €	39.815.098 €	41.208.626 €
Acumulado	-89.212.239 €	-50.743.546 €	-10.928.448 €	30.280.178 €

Tabla 6.5. Flujos de caja obtenidos durante 15 años (Continuación)

AÑO	13	14	15
Ingresos por Ventas	98.887.834 €	102.348.908 €	105.931.120 €
Costes	54.444.559 €	56.350.119 €	58.322.373 €
Beneficio bruto	44.443.275 €	45.998.789 €	47.608.747 €
Impuestos	5.695.582 €	6.162.237 €	6.645.224 €
Amortización	25.458.000 €	25.458.000 €	25.458.000 €
Beneficio neto	4.182.142 €	4.328.517 €	4.480.015 €
Dotación a la amortización	25.458.000 €	25.458.000 €	25.458.000 €

Flujo neto de caja	42.650.928 €	44.143.711 €	45.688.740 €
Acumulado	72.931.106 €	117.074.817 €	162.763.558 €

7 VALORACIÓN DEL PROYECTO

El análisis de la rentabilidad del presente proyecto se realiza en base a tres indicadores: Valor actual neto (VAN), Tasa interna de retorno (TIR), y el Tiempo de retorno o Payback.

7.1 Valor actual neto (VAN)

El valor actual neto de una inversión se calcula a partir de la ecuación (7.1).

$$VAN = -Inversión + \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{(V - C)}{(1 + i)^n} + \frac{Circulante}{(1 + i)^n} \right\} \quad (7.1)$$

donde:

- ✓ V ≡ Ventas
- ✓ C ≡ Costes
- ✓ n ≡ Número de años
- ✓ i ≡ Tasa de actualización o descuento

Una inversión se considera más rentable cuanto mayor es el valor del VAN para un tipo de actualización dado. El principal inconveniente del VAN es su dependencia de la tasa de descuento.

Para una tasa de descuento del 8%, el valor actual neto tiene un valor de:

VAN=342.602.458 €

7.2 Tasa interna de retorno

La tasa interna de (TIR) es el tipo de actualización que hace nulo el valor actual neto, es decir, la tasa de descuento para la recuperación de la inversión. Se calcula determinando el valor de i que satisfaga la ecuación (7.2)

$$VAN = -Inversión + \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{(V - C)}{(1 + i)^n} + \frac{Circulante}{(1 + i)^n} \right\} = 0 \quad (7.2)$$

Si el tipo de actualización exigido al proyecto es menor al TIR, el proyecto será rentable, ya que eso implica que el VAN es positivo para ese tipo de actualización. El principal inconveniente del TIR es que no tiene en consideración la temporalidad de los flujos de caja.

El valor obtenido para la tasa interna de retorno es de:

TIR=11,67%

Como el VAN es positivo y el TIR es mayor que la tasa de descuento aplicada se puede concluir que el proyecto es viable económicamente.

7.3 Tiempo de retorno

El tiempo de retorno es el tiempo requerido una vez iniciado el proyecto para recuperar el desembolso inicial. Se calcula acumulando los flujos netos de caja hasta que su suma coincida con el desembolso inicial.

El tiempo necesario para la recuperación del capital total invertido, suponiendo que los flujos a lo largo del año son lineales es de:

PAYBACK=11 años y 3 meses

TÍTULO: PLANTA DE REGASIFICIÓN OFFSHORE DE GNL

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N

15405 - FERROL

FECHA: JUNIO DE 2014

AUTOR: EL ALUMNO

Fdo.: JUAN SEBASTIAN REY PIÑON

ÍNDICE

1	OBJETIVO	1
2	DESCRIPCIÓN DE LA OBRA	2
	2.1 <i>Tipo de obra</i>	2
3	DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD ..	3
	3.1 <i>Aplicación de la seguridad en el proceso constructivo</i>	3
	3.1.1 Trabajos preliminares.....	4
	3.1.2 Movimientos de tierras.....	6
	3.1.3 Red horizontal de saneamiento	8
	3.1.4 Cimentaciones.....	9
	3.1.5 Estructura.....	11
	3.1.6 Apeos, entibaciones y recalces.....	13
	3.1.7 Sistema eléctrico	15
	3.1.8 Cerramientos.....	18
	3.1.9 Cubiertas	21
	3.1.10 Albañilería.....	23
	3.1.11 Acabados.....	25
	3.2 <i>Instalaciones</i>	28
	3.2.1 Instalaciones provisionales de electricidad.....	28
	3.2.2 Instalaciones no provisionales.....	30
4	SERVICIO DE PREVENCIÓN	36
	4.1 <i>Servicio técnico de seguridad y salud</i>	36
	4.2 <i>Servicio médico</i>	36
	4.3 <i>Vigilante de seguridad y comité de seguridad y salud</i>	36
	4.4 <i>Instalaciones de salubridad y confort del personal</i>	36

1 OBJETIVO

La principal finalidad de este documento es la de hacer un estudio detallado sobre la seguridad y la salud en el proceso de construcción de la obra. Este estudio es de obligado cumplimiento como así se recoge en el *Artículo 4 del Real Decreto 1627/1997* (modificado por el *R.D. 604/2006* de 29 de mayo de 2006) de *disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción*.

En este documento se recogen pues toda la información y los análisis obtenidos para todas y cada una de las actividades precisas en la elaboración de la obra constructiva.

La empresa constructora deberá tener en cuenta dicho estudio para llevar a cabo la elaboración del Plan de Seguridad y Salud, con la finalidad de analizar, estudiar, desarrollar y complementar todas aquellas previsiones respecto a la posible presencia de riesgos laborales, así como los riesgos derivados de las tareas de reparación, conservación o mantenimiento además de las instalaciones preceptivas de higiene y salubridad de los trabajadores.

De realizarse alguna modificación durante la fase de construcción, será de obligado cumplimiento la elaboración del texto acreditativo de dicha modificación, así como las posibles interacciones con las restantes circunstancias aquí recogidas.

2 DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

2.1 Tipo de obra

La obra objeto de este estudio consiste en la construcción de las instalaciones necesarias para el establecimiento de una planta de regasificación offshore de GNL. Debido a las características especiales de dicho proyecto, la realización de las obras no se llevarán a cabo en la ubicación final de la planta, sino en un lugar en tierra adecuado para la construcción de la plataforma GBS y la colocación de los tanques de almacenamiento, equipos de superficie y proceso, así como de los equipos auxiliares para el funcionamiento de dicha planta.

Las obras de la estructura de hormigón, de construcción de los tanques y equipos de superficie se llevarán a cabo de forma simultánea para posteriormente realizar el ensamblaje de todos los componentes.

En general, las fases o etapas a seguir para el montaje son:

- I. Reconocimiento de la zona de construcción de la GBS
- II. Organización de los trabajos
- III. Obtención de las licencias y permisos para el inicio de las obras (en caso de ser necesarios)
- IV. Organización de la zona de obra
- V. Fase constructiva
 - a. Trabajos de las infraestructuras de apoyo al GBS, que consisten en el aprovisionamiento y acondicionamiento de espacios en la ejecución de las instalaciones, oficinas, equipos y servicios en la Obra y su perfecto mantenimiento, así como la desmovilización de la infraestructura primaria.

- b. Infraestructura primaria, que incluye movimientos de tierras, vallado y seguridad de la cimentación de la GBS.
 - c. Infraestructuras secundaria, que incluye instalación de la red de servicios (agua potable, saneamiento, gestión de residuos de obra y urbanos, telecomunicaciones, sistema eléctrico,...), carreteras, vías de servicio y aparcamiento, almacenes, zonas de acopio, talleres de prefabricación de piezas de acero, embebidos y vigas, laboratorios de ensayo,...
 - d. Cimentaciones y estructuras laterales del GBS
 - e. Colocación de tanques
 - f. Terminación de la estructura de hormigón y construcción y acondicionamiento de las zonas de habitabilidad
 - g. Montaje de equipos y tuberías
 - h. Soldaduras
 - i. Comprobación de soldaduras por Rayos X y líquidos penetrantes
 - j. Colocación de válvulas, accesorios y equipos de medida o control.
 - k. Prueba de funcionamiento del sistema
- VI. Traslado y colocación en el punto final de operación
- VII. Puesta en marcha

3 DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

3.1 Aplicación de la seguridad en el proceso constructivo

Hace referencia a los principales riesgos que pueden existir en el desarrollo del proceso constructivo, dando las normas de seguridad necesarias para evitarlos así como recomendando las protecciones adecuadas para cada tarea.

3.1.1 Trabajos preliminares

3.1.1.1 Riesgos más frecuentes

- ✓ Atropellos y golpes de máquinas
- ✓ Vuelco o falsas maniobras de maquinaria móvil
- ✓ Caída de personas al mismo nivel y distinto nivel

3.1.1.2 Protecciones colectivas

En todo momento se mantendrán las zonas de trabajo limpias y ordenadas. A nivel del suelo se acotarán las áreas de trabajo, siempre que se prevea circulación de personas o vehículos y se colocarán las señales:

- ✓ SNS-311: Riesgo de caídas a distinto nivel
- ✓ SNS-312: Riesgo de caídas a nivel
- ✓ SNS-310: Maquinaria pesada en movimiento

En los accesos a la obra, se colocarán de forma bien visible las señales normalizadas:

- ✓ PROHIBIDO EL PASO A TODA PERSONA AJENA A LA OBRA
- ✓ USO OBLIGATORIO DE CASCO PROTECTOR
- ✓ RIESGO DE CAÍDA DE OBJETOS

La rampa de salida de vehículos será independiente de los accesos de peatones, no tendrá una pendiente superior al 7%, estará iluminada y con una señal de STOP bien visible antes de acceder a la vía pública.

Para la señalización de desniveles, obstáculos u otros elementos de riesgo de caídas, choques o golpes se podrán utilizar paneles o colores de seguridad, o ambos.

En todo momento se mantendrán las zonas de trabajo limpias y ordenadas.

Se colocarán vallas o protecciones en las estructuras que puedan producir una caída a distinto nivel. En los casos que no fuera posible se limitará el acceso.

En la medida de lo posible se instalaran suelos con propiedades antideslizantes (pinturas con arena, chapas perforadas con salientes rugosos, etc...)

3.1.1.3 Equipos de protección personal

Será obligatorio el uso de casco y botas de seguridad con puntera metálica, homologados por el organismo correspondiente. Será obligatorio el uso de arnés de seguridad con sistema anti-caídas en las zonas identificadas como SNS-311, en donde será obligado la instalación de líneas de vida para poder efectuar el anclaje del arnés.

Es preceptivo el empleo de mono de trabajo. Siempre que las condiciones de trabajo exijan otros elementos de protección, se dotará a los trabajadores de los mismos. El mono de trabajo tendrá propiedades anti-estáticas en el caso de que los trabajos se realicen en cualquier tipo de atmósfera explosiva. Además este será siempre ignífugo.

Los trabajos en espacios confinados deberán hacerse siempre bajo la supervisión de personal de seguridad y siempre después de haber declarado la

atmosfera como no nociva y/o peligrosa. La medición ambiental se realizará en continuo durante el tiempo que duren los trabajos.

3.1.2 Movimientos de tierras

3.1.2.1 Riesgos más frecuentes

- ✓ Generación de polvo
- ✓ Explosiones e incendios
- ✓ Deslizamientos y desprendimientos del terreno
- ✓ Atropellos y golpes de máquinas
- ✓ Vuelco o falsas maniobras de maquinaria móvil
- ✓ Caída de personas

3.1.2.2 Protecciones colectivas

En todo momento se mantendrán las zonas de trabajo limpias y ordenadas. A nivel del suelo se acotarán las áreas de trabajo siempre que se prevea circulación de personas o vehículos y se colocará la señal:

- ✓ SNS-311: Maquinaria pesada, riesgo de caídas a distinto nivel.

Recipientes que contengan productos tóxicos o inflamables, herméticamente cerrados.

No apilar materiales en zonas de tránsito, retirando los objetos que impidan el paso.

Las rampas de acceso de vehículos al área de trabajo, serán independientes de los accesos de peatones.

Cuando necesariamente los accesos hayan de ser comunes, se delimitarán los de peatones por medio de vallas, aceras o medios equivalentes.

Se evitará mediante cinta de balizamiento y señalización adecuada, la permanencia o paso de personas bajo cargas suspendidas. La salida del recinto de la obra a la zona de oficinas y vestuarios será debidamente protegida con marquesinas de seguridad capaz de soportar la caída de materiales comunes.

Siempre que en el izado de materiales, el tamaño o forma de éstos pueda ocasionar choques con la estructura u otros elementos, se guiará la carga con cables o cuerdas de retención.

La maquinaria de movimiento de tierras dispondrá de cabina con pódico antivuelco y dispondrá del correspondiente extintor y dispositivo avisador acústico de marcha atrás.

Se dispondrá de una iluminación con focos fijos o móviles que en todo momento proporcione visibilidad suficiente en la totalidad de las zonas de trabajo y circulación.

Los materiales sobrantes, procedentes del apuntalamiento, desencofrado o recortes metálicos, se apilarán a distancia suficiente de las zonas de circulación y trabajo. Se retirarán los elementos punzantes o cortantes que sobresalgan de los mismos.

Los trabajos en espacios confinados deberán hacerse siempre bajo la supervisión de personal de seguridad y siempre después de haber declarado la atmosfera como no nociva y/o peligrosa. La medición ambiental se realizará en continuo durante el tiempo que duren los trabajos.

3.1.2.3 Equipos de protección personal

Será obligatorio el uso de casco y botas de seguridad con puntera metálica, homologados por el organismo correspondiente.

Es preceptivo el empleo de mono de trabajo y en su caso trajes de agua y botas. El mono de trabajo tendrá propiedades anti-estáticas en el caso de que los trabajos se realicen en cualquier tipo de atmósfera explosiva. Además este será siempre ignífugo.

Empleo de cinturón de seguridad, por parte del conductor de la máquina, si ésta va dotada de cabina antivuelco.

Siempre que las condiciones de trabajo exijan otros elementos de protección, se dotará a los trabajadores de los mismos.

3.1.3 Red horizontal de saneamiento

3.1.3.1 Riesgos más frecuentes

- ✓ Deslizamiento y desprendimiento del terreno
- ✓ Caída de personas
- ✓ Golpes de objetos
- ✓ Atrapamientos con tubos y elementos de izado

3.1.3.2 Protecciones colectivas

En todo momento se mantendrán las zonas de trabajo limpias y ordenadas.

A nivel del suelo se acotarán las áreas de trabajo siempre que se prevea circulación de personas o vehículos y se colocará la señal:

- ✓ SNS-311: Riesgo de caídas a distinto nivel

En trabajos en el interior de zanjas de profundidad superior a 1,30 m, si la estabilidad del terreno lo aconseja, se estibarán o ataludarán adecuadamente los laterales.

Los trabajos en espacios confinados deberán hacerse siempre bajo la supervisión de personal de seguridad y siempre después de haber declarado la atmosfera como no nociva y/o peligrosa. La medición ambiental se realizará en continuo durante el tiempo que duren los trabajos.

3.1.3.3 Equipos de protección personal

Será obligatorio el uso del casco y botas de seguridad con puntera metálica, homologados por el organismo correspondiente.

Es preceptivo el empleo de mono de trabajo. El mono de trabajo tendrá propiedades anti-estáticas en el caso de que los trabajos se realicen en cualquier tipo de atmósfera explosiva. Además este será siempre ignífugo.

El personal que transporte o coloque tubos, se protegerá con guantes.

Siempre que las condiciones de trabajo exijan otros elementos de protección, se dotará a los trabajadores de los mismos.

3.1.4 Cimentaciones

3.1.4.1 Riesgos más frecuentes

- ✓ Deslizamientos y desprendimientos del terreno
- ✓ Caída a la zanja del muro pantalla
- ✓ Caídas al mismo nivel, a consecuencia del estado del terreno

- ✓ Heridas punzantes causadas por las armaduras
- ✓ Atropellos y golpes de maquinaria
- ✓ Golpes de herramientas de mano

3.1.4.2 Protecciones colectivas

Perfecta delimitación de la zona de trabajo de la maquinaria.

En todo momento se mantendrán las zonas de trabajo limpias y ordenadas.

A nivel del suelo se acotarán las áreas de trabajo siempre que se prevea circulación de personas o vehículos y se colocará la señal:

- ✓ SNS-311: Riesgo de caídas a distinto nivel

En los accesos de vehículos al área de trabajo se colocará la señal:

- ✓ PELIGRO INDETERMINADO

Y el rótulo:

- ✓ SALIDA DE CAMIONES

Las zonas de paso sobre las excavaciones de la cimentación, se realizarán mediante pasarelas dotadas de barandilla a ambos lados. Los acopios de armaduras dispondrán de zonas predeterminadas y balizadas.

3.1.4.3 Equipos de protección personal

Será obligatorio el uso de casco y botas de seguridad con puntera y plantillas metálicos, homologados por el organismo correspondiente. Guantes de cuero, para el manejo de juntas de hormigonado, ferralla,...

Es preceptivo el empleo de mono de trabajo, trajes de agua, botas,...

El personal que trabaje en la puesta en obra de hormigón, empleará gafas panorámicas, guantes y botas de goma, con puntera metálica. El mono de trabajo tendrá propiedades anti-estáticas en el caso de que los trabajos se realicen en cualquier tipo de atmósfera explosiva. Además este será siempre ignífugo.

Siempre que las condiciones de trabajo exijan otros elementos de protección, se dotará a los trabajadores de los mismos.

Será obligatorio el uso de arnés de seguridad con sistema anti-caídas en las zonas identificadas como SNS-311, en donde será obligado la instalación de líneas de vida para poder efectuar el anclaje del arnés.

3.1.5 Estructura

3.1.5.1 Riesgos más frecuentes

- ✓ Pinchazos, frecuentes en los pies, en fase de desencofrado
- ✓ Electrocuciiones por contacto indirecto
- ✓ Caída de personas
- ✓ Golpes de herramientas de mano
- ✓ Heridas punzantes en extremidades

3.1.5.2 Protecciones colectivas

En todo momento se mantendrán las zonas de trabajo limpias y ordenadas.

Se colocarán barandillas de 0,90 m de altura y rodapiés de 0,20 m en todos los bordes de forjado y huecos del mismo, o alternativamente, se dispondrán redes u otras protecciones.

A nivel del suelo, se acotarán las áreas de trabajo y se colocará la señal:

- ✓ SNS-307: Riesgo de caída de objetos.

Siempre que resulte obligatorio realizar trabajos simultáneos en diferentes niveles superpuestos, se protegerá a los trabajadores situados en niveles inferiores con redes, viseras o elementos de protección equivalentes.

3.1.5.3 Equipos de protección personal

Será obligatorio el uso de casco y botas de seguridad con puntera metálica homologados por el organismo correspondiente.

Calzado con suela reforzada anticlavo.

Es preceptivo el empleo de mono de trabajo, guantes de goma durante el vertido del hormigón. El mono de trabajo tendrá propiedades anti-estáticas en el caso de que los trabajos se realicen en cualquier tipo de atmósfera explosiva. Además este será siempre ignífugo.

Será obligatorio el uso de arnés de seguridad con sistema anti-caídas en las zonas identificadas como SNS-311, en donde será obligado la instalación de líneas de vida para poder efectuar el anclaje del arnés.

El personal que manipule hierro de armar se protegerá con guantes y hombreras en su caso.

El personal que transporte y coloque materiales prefabricados usará guantes de trabajo apropiados, anticorte o de serraje y lona, según proceda.

Siempre que las condiciones de trabajo exijan otros elementos de protección, se dotará a los trabajadores de los mismos.

3.1.6 Apeos, entibaciones y recalces

3.1.6.1 Riesgos más frecuentes

- ✓ Caída de personas
- ✓ Caída de objetos a distinto nivel
- ✓ Golpes en manos, pies y cabeza
- ✓ Afecciones en la piel
- ✓ Electrocuaciones por contacto directo
- ✓ Caídas al mismo nivel por falta de orden y limpieza

3.1.6.2 Protecciones colectivas

En todo momento se mantendrán las zonas de trabajo limpias y ordenadas.

A nivel del suelo se acotarán las áreas de trabajo y se colocarán las señales:

- ✓ SNS-307: Riesgo de caída de objetos
- ✓ SNS-308: Peligro, cargas suspendidas

Siempre que se prevea circulación de personas o vehículos se colocará la señal:

- ✓ SNS-311: Riesgo de caídas a distinto nivel

Ante situaciones de duda de estabilidad o posible colapso del elemento a apearse, entibar o recalzar, se procederá previamente a la realización de ensayos tipo probetas testigo, ultrasonidos, esclerómetro o prueba de carga según se estime procedente.

Se evitará mediante cinta de balizamiento y señalización adecuada, la permanencia o paso de personas bajo cargas suspendidas. La salida del recinto de la obra a la zona de oficinas y vestuarios será debidamente protegida con marquesina de seguridad capaz de soportar la caída de materiales comunes.

Siempre que en el izado de materiales, el tamaño o forma de éstos pueda ocasionar choques con la estructura u otros elementos, se guiará la carga con cables o cuerdas de retención.

Para la realización de trabajos de soldadura a alturas superiores a 2 m sobre el nivel del suelo se utilizará plataforma de trabajo dotada perimetralmente de barandilla de 0,90 m, y rodapié de 0,20 m. Asimismo todos los huecos, tanto horizontales como verticales, estarán igualmente protegidos con barandillas rígidas completas que soporten un impacto tangencial de 150 kg/m. Los huecos de forjado permanecerán constantemente condenados con mallazo electrosoldado embebido en el zuncho perimetral o redes ancladas horizontalmente.

Se dispondrá de una iluminación con focos fijos o móviles que en todo momento proporcione visibilidad suficiente en la totalidad de las zonas de trabajo y circulación.

Los materiales sobrantes, procedentes del apuntalamiento, desencofrado o recortes metálicos, se apilarán a distancia suficiente de las zonas de circulación y trabajo. Se retirarán los elementos punzantes o cortantes que sobresalgan de los mismos.

3.1.6.3 Equipos de protección personal

Casco homologado y calzado de seguridad homologado con puntera metálica y piso antideslizante.

Será obligatorio el uso de arnés de seguridad con sistema anti-caídas en las zonas identificadas como SNS-311, en donde será obligado la instalación de líneas de vida para poder efectuar el anclaje del arnés. Este deberá ser homologado conforme a las normas EN1497 y EN361

Sirga de anclaje para su desplazamiento y afianzamiento.

El personal que manipule hierro de armar, se protegerá con guantes de punto y palma de látex rugoso.

Los soldadores usarán además de gafas de DIN 9 para oxicorte o universal antimpactos homologadas para el desbarbado, guantes de manga larga de soldador, mandil, chaquetilla y polainas ignífugas. Será obligado el uso de pantalla de soldar con cristal inactínico de tono 11 para trabajos de soldadura TIC, MIC, eléctrica convencional y PLASMA. Esta deberá ser homologada en la norma EN-175 y EN-379.

3.1.7 Sistema eléctrico

3.1.7.1 Riesgos más frecuentes

- ✓ Caída de personas

- ✓ Caída de objetos a distinto nivel
- ✓ Golpes en manos, pies y cabeza
- ✓ Heridas en extremidades
- ✓ Caídas al mismo nivel por falta de orden y limpieza
- ✓ Contacto eléctrico

3.1.7.2 Protecciones colectivas

En todo momento se mantendrán las zonas de trabajo limpias y ordenadas.

Para trabajos nocturnos se dispondrá iluminación con focos fijos o móviles en zonas de circulación y trabajo que proporcionen correcta visibilidad.

Se delimitará con vallas el área de trabajo y en los accesos se colocarán las señales:

- ✓ SNS-308: Cargas suspendidas
- ✓ SNS-310: Riesgo de maquinaria pesada en movimiento
- ✓ SNS-311: Riesgo de caídas a distinto nivel

La barandilla situada en la coronación del muro perimetral, no será retirada hasta la ejecución del forjado del nivel de la calle. Se evitará mediante cinta de balizamiento y señalización adecuada, la permanencia o paso de personas bajo cargas suspendidas. La salida del recinto de la obra a la zona de oficinas y vestuarios será debidamente protegida con marquesina de seguridad capaz de soportar la caída de materiales comunes.

Siempre que en el izado de materiales, el tamaño o forma de éstos pueda ocasionar choques con la estructura u otros elementos, se guiará la carga con cables o cuerdas de retención.

Se protegerán las instalaciones eléctricas con interruptores diferenciales de corte automático sensibles a las corrientes de defecto mayores o iguales a 300mA. A su vez las instalaciones deberán tener habilitado un dispositivo de corte y protección de línea adecuado a la I_{max} del cable de alimentación.

Todos aquellos trabajos que haya necesidad de hacerlos en proximidad de tensión o con tensión, se harán cumpliendo estrictamente el RD614. Será necesario balizar la zona y estos solo se ejecutarán por trabajadores cualificados y autorizados por la empresa.

3.1.7.3 Equipos de protección personal

Será obligatorio el uso de casco y botas de seguridad con puntera metálica, homologados por el organismo correspondiente.

Es preceptivo el empleo de mono de trabajo. El mono de trabajo tendrá propiedades anti-estáticas en el caso de que los trabajos se realicen en cualquier tipo de atmósfera explosiva. Además estos serán siempre ignífugos.

El personal estará equipado con guantes de trabajo o anticorte, en función del tipo de actividad que desempeñe. Para trabajos en proximidad de tensión o con tensión los guantes deberán de ser aislantes para la tensión nominal conforme a norma.

Será obligatorio el uso de arnés de seguridad con sistema anti-caídas en las zonas identificadas como SNS-311, en donde será obligado la instalación de líneas de vida para poder efectuar el anclaje del arnés.

Los trabajos que se realicen en tensión o en proximidad de tensión en baja tensión se ejecutarán con gafas de protección inactivas. En alta tensión deberán hacerse con pantallas de protección facial inactivas.

Siempre que las condiciones de trabajo exijan otros elementos de protección, se dotará a los trabajadores de los mismos.

Será obligatorio el uso del casco y arnés de seguridad homologado y la correspondiente sirga y dispositivo de anclaje para facilitar los movimientos.

Es preceptivo el empleo de botas de seguridad homologadas con puntera metálica y piso antideslizante.

Las gafas de picapedrero y los protectores auditivos serán igualmente necesarios.

Siempre que las condiciones de trabajo exijan otros elementos de protección, se dotará a los trabajadores de los mismos.

3.1.8 Cerramientos

3.1.8.1 Riesgos más frecuentes

- ✓ Caída de personas
- ✓ Caída de materiales

3.1.8.2 Protecciones colectivas

En todo momento se mantendrán las zonas de trabajo limpias y ordenadas.

El número de huecos de fachada que puedan quedar abiertos deberá reducirse al mínimo, por lo que estarán definidos con antelación suficiente el tipo de fábrica así como la cerrajería y carpintería.

Los bordes y huecos de forjado se protegerán con barandillas de 0,90 m de altura y rodapié de 0,20 m, que sólo se quitarán inmediatamente antes de hacer el cerramiento definitivo.

Siempre que durante la ejecución de esta unidad deban desarrollarse trabajos en distintos niveles superpuestos, se protegerán los niveles inferiores con redes de protección, viseras o medios equivalentes.

A nivel del suelo se acotarán las áreas de trabajo y se colocará la señal:

- ✓ SNS-307: Riesgo de caída de objetos

Los andamios de forma general deberán tener las siguientes características:

- ✓ La madera que se emplee en su construcción será perfectamente escuadrada, descortezada y sin pintar, limpia de nudos y otros defectos que afecten a su resistencia
- ✓ El coeficiente de seguridad de toda la madera será 5
- ✓ Queda prohibido utilizar clavos de fundición
- ✓ Los andamios tendrán un ancho mínimo de 0,60 m
- ✓ La distancia entre el andamio y el parámetro a construir será como máximo de 0,45 m
- ✓ La andamiada estará provista de barandilla de 0,90 m de alto y rodapié de 0,20 m en sus tres costados exteriores
- ✓ Cuando se trate de un andamio móvil colgado, se montará además una barandilla de 0,70 m de alto, por la parte que da al paramento
- ✓ Los andamios colgados tendrán una longitud máxima de 8 m. La distancia máxima entre puentes será de 3 m
- ✓ Los pescantes utilizados para colgar andamios se sujetarán a elementos resistentes de la estructura

- ✓ En los andamios de pies derechos que tengan dos o más plataformas de trabajo, éstos distarán como máximo 1,80 m. la comunicación entre ellas se hará por escaleras de mano que tendrán un ancho mínimo de 0,50 m y sobrepasarán 0,70 m la altura a salvar
- ✓ Se acepta el uso de andamios metálicos y aparejos con cable de acero, pero se recomienda la utilización de andamios metálicos de estructura tubular con accesos incorporados a las plataformas de trabajo.

3.1.8.3 Equipos de protección personal

Será obligatorio el uso de casco y botas de seguridad con puntera metálica homologados por el organismo correspondiente.

Es preceptivo el empleo de mono de trabajo. El mono de trabajo tendrá propiedades anti-estáticas en el caso de que los trabajos se realicen en cualquier tipo de atmósfera explosiva. Además estos serán siempre ignífugos.

Para el acarreo manual de material cerámico se utilizará el guante anticorte de látex rugoso. Para el montaje de andamios y accionamiento de mecanismos de los mismos se utilizará el guante de trabajo.

Será obligatorio el uso de arnés de seguridad con sistema anti-caídas en las zonas identificadas como SNS-311, en donde será obligado la instalación de líneas de vida para poder efectuar el anclaje del arnés.

Siempre que las condiciones de trabajo exijan otros elementos de protección, se dotará a los trabajadores de los mismos.

3.1.9 Cubiertas

3.1.9.1 Riesgos más frecuentes

- ✓ Hundimiento de los elementos de la cubierta por exceso de acopio de materiales
- ✓ Caída de personas
- ✓ Caída de materiales
- ✓ Quemaduras
- ✓ Afecciones de la piel por agentes químicos

3.1.9.2 Protecciones colectivas

En todo momento se mantendrán las zonas de trabajo limpias y ordenadas.

En las zonas de trabajo se dispondrán cuerdas o cables de retención, argollas, u otros puntos fijos para el enganche de los cinturones de seguridad. En cualquier caso se utilizará el arnés de seguridad de forma que el trabajador no pueda sufrir una caída libre mayor de 1 m. Si dispone de un mecanismo de frenado, éste será comprobado antes de su utilización, de forma que su efecto sea equivalente a la caída desde 1 m de altura como máximo.

A nivel del suelo se acotarán las áreas de trabajo y se colocará la señal:

- ✓ SNS-307: Riesgo de caída de objetos

En los bordes o flancos de las cubiertas horizontales se dispondrá de barandillas de 0,90 m de altura y rodapié de 0,20 m.

Para la realización del antepecho de cubierta inclinada se montará un andamio perimetral que deberá tener un ancho mínimo de 0,60 m, barandillas

de 0,90 m de altura formada por travesaños que no disten más de 0,30 m y rodapié de 0,20 m de altura mínima. Se colocará a la altura del canalón y estará adosado a la fachada, sin dejar huecos entre ésta y el andamio.

Cuando éste andamio haya de utilizarse para trabajos en canalones o cornisas, el piso del andamio podrá colocarse como máximo 0,30 m por debajo de éstos. En este caso el punto más alto del rodapié debe llegar como mínimo hasta la prolongación del plano de la cubierta.

Colocados los elementos portantes de estructura, se instalarán las redes de seguridad desplazables horizontalmente desde la cota cero por mediación de cuerdas directoras, deslizándose todo el conjunto por las sirgas laterales a las que se amarrará la red por mediación de mosquetones. Los paños horizontales de red desplazables se situarán en todo momento bajo la vertical de los puntos de trabajo, garantizando la recogida de la persona u objeto caído por encima de los 7 m con relación al plano del suelo.

3.1.9.3 Equipos de protección personal

Será obligatorio el uso del casco, calzado antideslizante y, en la manipulación de líquidos a alta temperatura, botas, guantes y polainas de cuero.

Arnés de seguridad homologados, tipo sujeción, empleándose éstos solamente en el caso excepcional de que los medios de protección colectiva no sean posibles, estando anclados a elementos resistentes y habilitados a tal efecto (líneas de vida).

Mono de trabajo con perneras y mangas perfectamente ajustadas. El mono de trabajo tendrá propiedades anti-estáticas en el caso de que los trabajos se realicen en cualquier tipo de atmósfera explosiva. Además estos serán siempre ignífugos.

Siempre que las condiciones de trabajo exijan otros elementos de protección, se dotará al personal de los mismos.

3.1.10 Albañilería

3.1.10.1 Riesgos más frecuentes

- ✓ Caída de personas
- ✓ Caída de materiales
- ✓ Lesiones oculares
- ✓ Afecciones de la piel

3.1.10.2 Protecciones colectivas

En todo momento se mantendrán las zonas de trabajo limpias y ordenadas.

Por encima de los 2 m todo andamio debe estar provisto de barandilla de 0,90 m de altura y rodapié de 0,20 m.

El acceso a los andamios de más de 1,50 m de altura, se hará por medio de escaleras de mano provistas de apoyos antideslizantes en el suelo y su longitud deberá sobrepasar por lo menos 0,70 m el nivel del andamio.

En paramentos de más de 4 m de altura a nivel del suelo se acotará el área de trabajo y se colocará la señal:

- ✓ SNS-307: Riesgo de caída de objetos

Siempre que sea indispensable montar el andamio inmediato a un hueco de fachada o forjado, será obligatorio para los operarios utilizar el cinturón de seguridad, o alternativamente dotar al andamio de sólidas barandillas.

Las características de seguridad que deben reunir los andamios para la realización de estas tareas serán las siguientes:

- ✓ Debe disponerse de los andamios necesarios para que el operario nunca trabaje por encima de la altura de los hombros
- ✓ Hasta 3 m, de altura podrán utilizarse andamios de borriquetas fijas sin arriostramientos
- ✓ Por encima de 3 m y hasta 6 m, máxima altura permitida para este tipo de andamios, se emplearán borriquetas armadas de bastidores móviles arriostrados.
- ✓ Todos los tablones que forman la andamiada, deberán estar sujetos a las borriquetas por lías, y no deben volar más de 0,20 m
- ✓ La anchura mínima de la plataforma de trabajo será de 0,60 m
- ✓ Se prohibirá apoyar las andamiadas en tabiques o pilastras recién hechas, ni en cualquier otro medio de apoyo fortuito, que no sea la borriqueta o caballete sólidamente construido

3.1.10.3 Equipos de protección personal

Será obligatorio el uso de casco y botas de seguridad con puntera metálica, homologados por el organismo correspondiente.

Para el manejo de mortero es aconsejable la utilización de guantes de goma o crema protectora para las manos.

El acarreo manual de material cerámico, se realizará con guantes anticorte de látex rugoso.

Siempre que las condiciones de trabajo exijan otros elementos de protección, se dotará a los trabajadores de los mismos.

3.1.11 Acabados

3.1.11.1 Riesgos más frecuentes

- ✓ Golpes de objetos
- ✓ Heridas en las manos
- ✓ Quemaduras
- ✓ Intoxicación
- ✓ Heridas en extremidades
- ✓ Caída de personas
- ✓ Caída de materiales
- ✓ Contacto eléctrico
- ✓ Partículas en ojos

3.1.11.2 Protecciones colectivas

En todo momento se mantendrán las zonas de trabajo limpias y ordenadas. Las máquinas eléctricas dispondrán de puesta a tierra, y tendrán marcado CE.

Los locales donde se almacene gasolina, oxígeno, acetileno, propano o butano, estarán aislados y dotados de extintor de incendios. En su entrada se colocarán las señales:

- ✓ SNS-303: Peligro de incendio
- ✓ SNS-301: Prohibido fumar

Todos los espacios de almacenamiento de gasolina, oxígeno, acetileno, propano o butano estarán ubicados al aire libre con valla de cierre delimitándolos.

Los trabajos de soldadura, salvo aquellos que deban hacerse in situ, se realizarán en local destinado al efecto, y con el apantallado de seguridad correspondiente.

Los agujeros en forjados, así como las bocas de arquetas se mantendrán tapadas hasta su cierre definitivo.

Se procurará evitar la superposición bajo una misma vertical de distintos instaladores. Siempre que se prevea circulación de peatones o vehículos, se acotarán las áreas de trabajo.

Para la realización de trabajos sobre andamios de borriquetas se tendrán presentes las siguientes condiciones de utilización:

- ✓ Hasta 3 m, de altura podrán utilizarse andamios de borriquetas fijas sin arriostramientos
- ✓ Por encima de 3 m y hasta 6 m máxima altura permitida para este tipo de andamios, se emplearán borriquetas armadas de bastidores móviles arriostrados
- ✓ Todos los tablones que forman la andamiada, deberán estar sujetos a las borriquetas por lías, y no deben volar más de 0,20 m
- ✓ La anchura mínima de la plataforma de trabajo será de 0,60 m
- ✓ Se prohibirá apoyar las andamiadas en tabiques o pilastras recién hechas, ni en cualquier otro medio de apoyo fortuito, que no sea la borriqueta o caballete sólidamente construido

La utilización de andamios sobre ruedas debe ajustarse a las siguientes condiciones:

- ✓ Su altura no podrá ser superior a 4 veces su lado menor
- ✓ Para alturas superiores a 2 m se dotará al andamio de barandillas de 0,90 m y rodapié de 0,20 m

- ✓ El acceso a la plataforma de trabajo se hará por escaleras de 0,50 m de ancho mínimo, fijas a un lateral del andamio. Para alturas superiores a los 5 m la escalera estará dotada de jaula de protección
- ✓ Las ruedas estarán provistas de dispositivo de bloqueo. En caso contrario se acuñarán por ambos lados
- ✓ Se cuidará que apoyen en superficies resistentes, recurriendo si fuera necesario a la utilización de tablones u otro dispositivo de reparto del peso
- ✓ Antes de su utilización se comprobará su verticalidad
- ✓ Antes del desplazamiento del andamio desembarcará el personal de la plataforma de trabajo y no volverá a subir al mismo hasta que el andamio esté situado en su nuevo emplazamiento.

Las escaleras de mano estarán dotadas de zapatas u otro dispositivo antideslizante. Si son de tijera, dispondrán de tirantes de limitación de apertura. En ambos casos su anchura mínima será 0,50 m.

Las máquinas portátiles eléctricas a utilizar serán de doble aislamiento. Se prohíbe utilizar como tierra o neutro cualquier tipo de canalización metálica de las inmediaciones.

3.1.11.3 Equipos de protección personal

Será obligatorio el uso de casco y botas de seguridad con puntera metálica, homologados por el organismo correspondiente.

Los soldadores usarán mandil, guantes, pantalla o gafas y botas con polainas.

Los regateros utilizarán gafas panorámicas de picapedrero con visor de rejilla metálica, protección auditiva y respiratoria, homologada por el organismo correspondiente.

Para las tareas de decoletaje y extrusión se emplearán los guantes de trabajo y gafas antimpactos homologadas por el organismo correspondiente.

Para el manejo de útiles y herramientas se emplearán guantes de trabajo.

En pruebas con tensión eléctrica los operarios utilizarán calzado, guantes aislantes y pantalla facial transparente adaptada al casco.

Siempre que las condiciones de trabajo exijan otros elementos de protección, se dotará a los trabajadores de los mismos.

3.2 Instalaciones

3.2.1 Instalaciones provisionales de electricidad

3.2.1.1 Riesgos más frecuentes

- ✓ Quemaduras por deflagración eléctrica
- ✓ Contactos eléctricos directos
- ✓ Contactos eléctricos indirectos
- ✓ Caída de personas al mismo nivel
- ✓ Caída de personas a distinto nivel

3.2.1.2 Protecciones colectivas

Los cuadros generales de mando y protección estarán dotados de seccionador general de mando y corte automático omnipolar y protección

contra faltas a tierra, sobrecargas y cortocircuitos. Los diferenciales serán diferenciales de 300 mA.

El cuadro estará construido de forma que impida el contacto de los elementos bajo tensión.

De este cuadro saldrán circuitos secundarios para alimentación de las máquinas herramientas de obra, dotados de interruptor omnipolar magnetotérmico, interruptor general magnetotérmico, estando las salidas protegidas con interruptor magnetotérmico y diferencial de 30 mA. Las bases serán blindadas tipo CETAC y los cables manguera dispondrán asimismo de funda protectora aislante y resistente a la abrasión.

El circuito de iluminación portátil de obra dispondrá de un transformador a 24 V.

Del cuadro general saldrá un circuito de alimentación para los cuadros secundarios, protegido con interruptores magnetotérmicos de alta sensibilidad, circuito de toma de tierra y circuito de tensión de seguridad a 24 V, donde se conectarán las herramientas y la iluminación portátil (24 V) respectivamente en los diferentes tajos. Estos serán de instalación móvil, según las necesidades de la obra y cumplirán las condiciones exigidas para las instalaciones de intemperie, estando colocados estratégicamente, a fin de disminuir en lo posible el número de líneas y su longitud.

Todos los conductores empleados en la instalación estarán aislados para una tensión de 1.000 V.

Todos los cuadros eléctricos de obra tendrán colocada de forma bien visible la señal normalizada:

✓ RIESGO ELÉCTRICO

3.2.1.3 Equipos de protección personal

- ✓ Casco homologado de seguridad, dieléctrico
- ✓ Guantes aislantes homologados
- ✓ Guantes de cabritilla con manga larga para retirar fusibles y trabajos de precisión en inmediación de elementos bajo tensión
- ✓ Comprobador de tensión
- ✓ Herramientas manuales homologadas, dieléctricas
- ✓ Pantalla facial de policarbonato (inactínica)
- ✓ Gafas protección arco eléctrico 3 DIN (inactínicas)
- ✓ Botas aislantes
- ✓ Chaqueta ignífuga en maniobras eléctricas
- ✓ Tarimas, alfombrillas, pértigas, cortinas aislantes
- ✓ El mono de trabajo tendrá propiedades anti-estáticas en el caso de que los trabajos se realicen en cualquier tipo de atmósfera explosiva. Además estos serán siempre ignífugos.

3.2.2 Instalaciones no provisionales

3.2.2.1 Riesgos más frecuentes

3.2.2.1.1 Carpintería de madera y aluminio

- ✓ Caída de personas al mismo nivel
- ✓ Caídas a distinto nivel
- ✓ Caídas de materiales o pequeños materiales
- ✓ Golpes con objetos
- ✓ Heridas en extremidades superiores e inferiores
- ✓ Riesgo de contacto directo con máquinas y herramientas
- ✓ Ambiente de polvo en acuchillados y lijados

3.2.2.1.2 Acristalamiento

- ✓ Caídas de material
- ✓ Mal funcionamiento de ventosas
- ✓ Caída de personas a distinto nivel
- ✓ Cortes en extremidades, superiores e inferiores
- ✓ Golpes contra vidrios ya colocados
- ✓ Esquirlas en los ojos por rotura

3.2.2.1.3 Pinturas y barnices

- ✓ Intoxicación por emanación
- ✓ Explosiones de incendios
- ✓ Salpicaduras en cara y ojos al aplicarlos sobre techos
- ✓ Caídas al mismo nivel, por uso inadecuado de medios auxiliares

3.2.2.1.4 Instalaciones de fontanería

- ✓ Golpes contra objetos
- ✓ Heridas en extremidades superiores
- ✓ Quemaduras por la llama de soplete
- ✓ Explosiones o incendios en soldaduras

3.2.2.1.5 Instalaciones de electricidad

- ✓ Caídas de personal al mismo nivel por uso indebido de escalera
- ✓ Electrocuciiones
- ✓ Cortes en extremidades superiores

3.2.2.1.6 Instalaciones de aislamiento

- ✓ Caídas al mismo nivel por uso indebido de medios auxiliares

- ✓ Cortes en extremidades superiores
- ✓ Salpicaduras de fibra en ojos al colocar el aislamiento
- ✓ Electrocuciiones

3.2.2.1.7 Aplacados

- ✓ Caída de materiales a distinto nivel
- ✓ Golpes y aplastamientos de dedos
- ✓ Salpicadura de partículas en ojos

3.2.2.2 Protecciones colectivas

3.2.2.2.1 Carpintería de madera y aluminio

Comprobación al principio de la jornada del estado de los medios auxiliares empleados en su colocación (andamios, cinturones de seguridad, anclajes, borriquetas,...).

3.2.2.2.2 Acristalamientos

Manejo debido de la ventosa y comprobación de su eficacia.

En operaciones de transporte y almacenamiento, mantenerlos en posición vertical, señalizando su acopio y existencia.

Se colocarán preferentemente desde dentro del edificio.

Únicamente se podrán colocar desde el exterior, sobre plataformas de trabajo sólidamente arriostradas a la estructura, dotadas de la totalidad de protección perimetral contra caídas y con los coeficientes de seguridad establecidos por la legislación vigente.

Los vidrios se señalarán con pintura una vez colocados, para poder ser identificados.

Los vidrios rotos serán retirados y evacuados inmediatamente después de su rotura.

Manejo con guantes de cuero adecuados.

3.2.2.2.3 Instalaciones de fontanería

Las máquinas auxiliares que se utilicen serán del tipo de doble aislamiento.

Jamás se utilizará como hilo neutro o toma de tierra los conductos colocados, bien de fontanería o calefacción.

Revisión de mangueras y sopletes para evitar fugas de gas.

Las botellas de gas serán retiradas de las proximidades de toda fuente de calor, protegiéndolas del sol.

Comprobación general de las herramientas manuales para evitar golpes y cortes.

3.2.2.2.4 Instalaciones de electricidad

Conexiones siempre sin tensión.

Las pruebas que deben hacerse con tensión serán realizadas después comprobar el acabado y seguridad de la instalación.

Revisión periódica de la instalación para evitar golpes y cortes en su uso.

3.2.2.2.5 Instalaciones de aislamiento

Manejo de guantes para el corte de plantillas de material aislante.

Uso de gafas protectoras al colocar conductos en el techo.

3.2.2.2.6 Aplacados

Uso especial y cuidadoso de las piezas para evitar golpes y aplastamientos.

3.2.2.3 Equipos de protección personal

3.2.2.3.1 Carpintería de madera y aluminio

- ✓ El mono de trabajo tendrá propiedades anti-estáticas en el caso de que los trabajos se realicen en cualquier tipo de atmósfera explosiva. Además este serán siempre ignífugo.
- ✓ Casco de seguridad homologado
- ✓ Cinturón de seguridad homologado en trabajos de caída a distinto nivel
- ✓ Guantes de cuero
- ✓ Botas de puntera reforzada, homologadas
- ✓ Uso de medios auxiliares adecuados para la realización de cada trabajo (escaleras, andamios,...)
- ✓ Ordenamiento de zonas de trabajo
- ✓ La carpintería irá debidamente asegurada en el lugar en el que deba ir colocada, hasta su fijación definitiva.

3.2.2.3.2 Acristalamientos

- ✓ Monos de trabajo
- ✓ Casco de seguridad homologado

- ✓ Calzado de puntera reforzada y piso antideslizante, homologado
- ✓ Guantes anticorte
- ✓ Uso de muñequeras o manguitos de cuero

3.2.2.3.3 Pinturas y barnices

- ✓ Gafas para trabajos de pintura en techos
- ✓ Uso de mascarilla protectora en los trabajos de pintura al gotelé

3.2.2.3.4 Instalaciones de fontanería

- ✓ El mono de trabajo tendrá propiedades anti-estáticas en el caso de que los trabajos se realicen en cualquier tipo de atmósfera explosiva. Además este serán siempre ignífugo.
- ✓ Casco de seguridad homologado
- ✓ Soldadores con uso de mandil de cuero, guantes, gafas y botas polainas
- ✓ Escaleras, plataformas y andamios usados, estarán en perfectas condiciones teniendo barandillas resistentes y rodapiés

3.2.2.3.5 Instalaciones de electricidad

- ✓ El mono de trabajo tendrá propiedades anti-estáticas en el caso de que los trabajos se realicen en cualquier tipo de atmósfera explosiva. Además este serán siempre ignífugo.
- ✓ Casco aislante homologado
- ✓ Calzado dieléctrico
- ✓ Guantes aislantes para trabajos en tensión
- ✓ Pantalla facial aislante para trabajos en tensión
- ✓ Herramientas con mango aislado
- ✓ Zona de trabajo bien iluminada
- ✓ Escalera de tijera con tirante para evitar su total abertura

- ✓ Escalera con apoyos aislantes en su base
- ✓ Señalización de zona de trabajo

4 SERVICIO DE PREVENCIÓN

4.1 Servicio técnico de seguridad y salud

La obra dispondrá de Técnico de Seguridad a tiempo parcial, que asesore a los responsables técnicos de la empresa constructora en materia de Seguridad y Salud, así como una Brigada de Repasos y Mantenimiento de la seguridad, con indicación de su composición y tiempo de dedicación a estas funciones.

4.2 Servicio médico

La empresa constructora dispondrá del asesoramiento facultativo de medicina preventiva a tiempo parcial de un ATS propio o mancomunado.

El botiquín dispondrá del contenido suficiente para prestar atenciones de urgencia, de conformidad a lo estipulado en la Ordenanza General de Seguridad e Higiene. Se revisará mensualmente y se repondrá inmediatamente lo consumido.

4.3 Vigilante de seguridad y comité de seguridad y salud

Se nombrará Vigilante de Seguridad de acuerdo con lo previsto en la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

4.4 Instalaciones de salubridad y confort del personal

Las instalaciones provisionales de obra se adaptarán en lo relativo a elementos, dimensiones y características a lo especificado en los artículos 39,

40, 41 y 42 de la Ordenanza General de Seguridad e Higiene y 335, 336 y 337 de la Ordenanza Laboral de la Construcción, Vidrio y Cerámica.

Se precisa un recipiente con tapa para facilitar el acopio y retirada de los desperdicios y basuras que genere durante las comidas el personal de la obra.

Para el servicio de limpieza de estas instalaciones higiénicas, se responsabilizará a una persona, la cual podrá alternar este trabajo con otros propios de la obra.

TÍTULO: PLANTA DE REGASIFICIÓN OFFSHORE DE GNL

ANALISIS MEDIOAMBIENTAL

PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N

15405 - FERROL

FECHA: JUNIO DE 2014

AUTOR: EL ALUMNO

Fdo.: JUAN SEBASTIAN REY PIÑON

ÍNDICE

1	OBJETIVO	1
2	IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS.....	2
	2.1 <i>Actividades del proyecto.....</i>	2
	2.2 <i>Interacción de las actividades del proyecto y el medio ambiente</i>	3
	2.3 <i>Efectos adversos sobre la calidad del agua de mar.....</i>	3
	2.3.1 <i>Efectos de la concentración de hipoclorito sódico.....</i>	6
	2.3.2 <i>Disminución de la temperatura del agua de mar.....</i>	6
	2.3.3 <i>Aumento del oxígeno disuelto en el agua.....</i>	7
	2.3.4 <i>Aumento de la turbiedad del agua.....</i>	7
	2.3.5 <i>Efectos adversos debido a la absorción de plancton.....</i>	8
	2.4 <i>Efectos adversos debido a la contaminación del aire.....</i>	8
	2.4.1 <i>Fase constructiva</i>	8
	2.4.2 <i>Fase de operación</i>	9
	2.5 <i>Efectos adversos debido al ruido.....</i>	9
	2.6 <i>Residuos sólidos.....</i>	10

1 OBJETIVO

El objetivo principal del análisis medioambiental es la identificación de los principales impactos que se puedan ocasionar sobre el medio ambiente, tanto en la fase de construcción, transporte y colocación de la GBS como en la fase de operación de la planta, para minimizar sus efectos en la medida de lo posible.

2 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

En esta sección del estudio, se intentará identificar los posibles impactos sobre el medioambiente en función de las distintas etapas del proyecto. Para ello, se citarán primero las distintas fases de las que consta el proyecto, incluyendo tanto las fases constructivas como las de explotación, para luego ver en qué y cómo afecta cada una de ellas al entorno donde estará ubicada la planta.

2.1 Actividades del proyecto

Las actividades previstas para la etapa de construcción del proyecto son las siguientes:

- I. *Transporte y movilización.* Comprende todas las actividades relacionadas con el movimiento de equipos, maquinaria y personal previas al inicio de la etapa de construcción.
- II. *Preparación del terreno para la construcción de la plataforma.* Comprende todas las actividades relacionadas con el movimiento de tierras necesario para la construcción de la plataforma offshore, almacenamiento de materiales y edificaciones de soporte.
- III. *Construcción de infraestructuras y servicios.* Incluye la construcción de accesos internos, instalación del campamento temporal de construcción, edificaciones de administración y generación de energía.
- IV. *Construcción del área de proceso.* Incluye la construcción de estructuras metálicas, ensamblaje de componentes mecánicos (incluyendo unidades de proceso y tuberías internas de transferencia de procesos) y la construcción de todos los componentes mecánicos y eléctricos de todas las unidades de proceso y almacenamiento de GNL.

- V. *Pruebas a sistemas y equipos.* Se aplican a todos los sistemas mecánicos tales como tanques, tuberías, válvulas,... así como también pruebas a los sistemas eléctricos y automatizados para el control.
- VI. Transporte de la terminal hasta su ubicación final y colocación de la misma.

Las actividades previstas para la operación de la planta son:

- I. *Recepción y regasificación del GNL.* Consiste en el proceso de recepción almacenamiento y regasificación del gas natural licuado que llega a planta en buques metaneros.
- II. *Mantenimiento de planta.* Incluye todas las operaciones necesarias para garantizar el buen funcionamiento de los sistemas mecánicos, eléctricos y automáticos de la planta.
- III. *Cierre de operaciones y abandono.* Agrupa todas las actividades relacionadas con el cierre de la planta y sus instalaciones al final de la vida estimada para su operación.

2.2 Interacción de las actividades del proyecto y el medio ambiente

Una vez identificadas las actividades del proyecto, se puede estudiar a que componentes ambientales afectan cada una de dichas actividades. En primer lugar se tratará todo lo relacionado con los efectos sobre el entorno marino, para luego ver que problemas se pueden provocar en el aire, las emisiones acústicas y los residuos sólidos.

2.3 Efectos adversos sobre la calidad del agua de mar

A continuación, se indican algunas de las actividades que forman parte de las distintas etapas de construcción y operación de la terminal, que afectan a la calidad del agua en las proximidades de la planta:

- ✓ Proceso de instalación de la terminal
- ✓ Instalación de gaseoducto submarino
- ✓ Pruebas de integridad de las tuberías submarinas
- ✓ Descargas rutinarias de agua de los vaporizadores
- ✓ Atraque de buques de GNL
- ✓ Derrame de hidrocarburos desde los buques
- ✓ Drenajes y arrastres de agua provenientes de zonas de proceso

Algunos de los efectos perjudiciales sobre el agua de mar como consecuencia de las actividades listadas anteriormente son:

- ✓ Reducción de la temperatura del agua de mar en varios grados en una zona del orden de 100 m alrededor de la terminal, como consecuencia de la descarga del agua empleada en los vaporizadores. A 500 m, la diferencia de temperatura frente al agua circundante se estima que es de entre 1-1,5 °C, dependiendo de las corrientes.
- ✓ Aumento de la turbiedad, causada por las descargas rutinarias de los vaporizadores y otras circunstancias tales como la instalación de la terminal y gaseoductos.
- ✓ Descarga de partículas sólidas con el agua proveniente de vaporizadores
- ✓ Manchas de hidrocarburos procedentes de algún escape en los buques

Estos efectos, se pueden agrupar en singulares y rutinarios.

Los efectos perjudiciales de carácter rutinario, son aquellos que tienen el mayor potencial de generar efectos duraderos y localizados en la calidad del agua. En esta categoría se incluyen las descargas de agua de los vaporizadores.

Los efectos perjudiciales para el agua de mar de carácter singular incluyen actividades que con probabilidad tendrán efectos temporales en la calidad del agua. Se identifican cuatro fuentes de efectos singulares sobre el agua de mar que pueden dar lugar a sedimentos localizados por corto espacio de tiempo, que pueden aumentar la turbiedad del agua, que son:

- ✓ Alineación del lecho marino para la instalación de la plataforma
- ✓ Enterramiento de los gaseoductos, que debe ser de al menos 1 m de profundidad por razones de seguridad frente a actividades que puedan erosionar el fondo marino, tales como la pesca de bajura
- ✓ Fondeo de barcas durante la instalación de gaseoductos y fondeo de buques gaseros en espera para realizar la descarga sobre el muelle de la terminal
- ✓ Desinstalación de la terminal y gaseoductos

A continuación, se amplía la información acerca de los efectos perjudiciales de las descargas rutinarias de la terminal en el mar, por considerarlas el efecto perjudicial más nocivo. Se distinguen seis tipos de descarga rutinaria dentro de esta categoría:

- I. Descargas de agua de proceso procedentes de los vaporizadores. Se estima un caudal de 12.000 m³/h
- II. Agua tratada procedente de servicios domésticos y aguas sanitarias. Aproximadamente, se estiman en 15 m³/día
- III. Agua tratada procedente de servicios de sentinas, al que acceden aguas aceitosas de drenajes de equipos, en un caudal estimado de 1,6 m³/día
- IV. Agua tratada procedente de la recolección de aguas de lluvia y salpicaduras de olas sobre cubierta
- V. Descargas de agua salada procedente del generador de agua dulce

De la lista anterior, la descarga de agua de proceso es la que tiene efectos más perjudiciales sobre la calidad del agua desde el punto de vista de disminución de la temperatura, aumento de la turbiedad, mayor concentración de oxígeno y aumento del pH debido a la adición de hipoclorito sódico en las bombas de succión de agua para vaporización para su uso como biocida.

2.3.1 Efectos de la concentración de hipoclorito sódico

Para evitar impactos a largo plazo en la calidad del agua, es preciso que el agua de descarga de vaporizadores y otro efluentes tratados con hipoclorito sódico como agente biocida, tengan concentraciones de hipoclorito inferiores a la establecida por la reglamentación vigente. Siendo así, puede considerarse mínimo el impacto biológico en los recursos marinos como resultado de las descargas de agua de mar procedente de la terminal.

2.3.2 Disminución de la temperatura del agua de mar

Los efectos biológicos adversos consecuencia de la descarga de agua a distinta temperatura de la circundante son de carácter localizado, puesto que la mayoría de las especies móviles se alejarán del conducto de expulsión y mezcla de agua fría.

La reglamentación terrestre española, exige que la diferencia de temperaturas del agua procedente de vaporizadores, con respecto a la del agua de mar circundante sea inferior a 6°C cuando se libera. Sin embargo, no existe una reglamentación para instalaciones offshore que establezca la temperatura mínima admisible en la salida de los vaporizadores. Puesto que, en función de las corrientes en la zona, la dispersión de esta agua puede tomar valores muy distintos.

2.3.3 Aumento del oxígeno disuelto en el agua

El agua procedente de los vaporizadores se airea a medida que fluye a través de los mismos. Además, la concentración de oxígeno aumenta con la reducción de temperatura.

2.3.4 Aumento de la turbiedad del agua

La turbiedad se refiere a la aparición de partículas insolubles suspendidas en el agua que impiden el paso de la luz a través de ella y que absorben energía solar.

En general, la turbiedad afecta de manera adversa a los peces y organismos de los cuales estos se alimentan de cuatro formas principales:

- I. Contribuye a la reducción de las tasas de crecimiento
- II. Repercute en el proceso de desarrollo de huevos de peces y larvas
- III. Modifica las pautas de migración de peces
- IV. La reducción en la penetración de la luz, reduce la profundidad de la zona en la que tiene lugar la vida de fitoplancton y zooplancton y, por tanto, la abundancia de comida para los peces.

Se estima que se generan aproximadamente 5.000 m³ de sedimentos en suspensión por cada kilómetro de conducto submarino enterrado, si bien las modernas técnicas de construcción contribuyen a reducir la dispersión de sedimentos, disminuyendo este tipo de impacto en el medio marino. La creación del gaseoducto, dará lugar a un corredor de 300 m de anchura en el que se tendrá lugar la mayor turbiedad.

El asentamiento de los sedimentos suspendidos, también puede ser motivo del enterramiento de huevos de especies demersales y larvas, por lo que se recomienda que las excavaciones tengan lugar fuera de los periodos

de reproducción natural. En base a esto, se concluye que la turbiedad asociada con la instalación de la terminal y los gaseoductos submarinos, contribuye a la dispersión temporal de peces de las zonas en las que se produzca, especialmente demersales y pelágicos.

Las anclas de gaseros en espera para atraque y descarga en el muelle de la terminal, también pueden producir turbiedad, aunque con un carácter más localizado que las descritas anteriormente para la fase constructiva del proyecto.

2.3.5 Efectos adversos debido a la absorción de plancton

La absorción de agua de mar por parte de las bombas en la terminal, dará lugar a una mortalidad del 100% del fitoplancton y zooplancton arrastrado. No obstante, se considera que el volumen de plancton absorbido es muy inferior al existente en la zona, se toman una serie de medidas para reducir al máximo la cantidad de organismos capturados. Entre estas medidas esta la introducción de filtros de malla fina en las tomas de mar y la limitación de la velocidad en la toma a 0,15 m/s.

Se considera que una malla en la toma de mar de celdas inferiores a 1 mm impedirá el paso de la mayoría de huevos y larvas, si bien podría ser motivo del agrupamiento de estos y otros organismos de mayor tamaño, contribuyendo al bloqueo de la toma de mar. Para evitar esta situación, se emplearán sistemas de limpieza periódica de toma de mar por contraflujo.

2.4 Efectos adversos debido a la contaminación del aire

2.4.1 Fase constructiva

Las principales emisiones durante la fase de construcción serán provocadas por el movimiento de tierras y maquinaria pesada, ya que crean nubes de polvo. También han de ser consideradas las emisiones de gases

debido a los motores de combustión de la maquinaria usada, no sólo durante la construcción, sino también durante el transporte e inmovilización de la terminal mar adentro.

2.4.2 Fase de operación

En cuanto a las emisiones rutinarias o de operación a la atmósfera, se contemplan:

- ✓ Gases procedentes de la combustión de diesel en motores
- ✓ Vaporizador de combustión sumergida (uso en condiciones pico y de mantenimiento de ORV's)
- ✓ Nitrógeno purgado por la antorcha de manera continua para prevenir la filtración de aire al circuito
- ✓ Posibles venteos de gas natural
- ✓ Quema de gas natural en antorcha

Es importante comentar que tanto los venteos de GNL como el quemado de GNL en antorcha son situaciones muy particulares y excepcionales.

2.5 Efectos adversos debido al ruido

Los ruidos generados por el proyecto de terminal offshore son producidos primeramente durante la fase de construcción y posteriormente como consecuencia de su operación normal, asociados con el aumento de tráfico marítimo y de helicópteros, equipos de proceso, etc.

La cantidad de ruido percibida por los peces y animales, depende no solo de las propiedades acústicas de la fuente (características espectrales, intensidad,...), sino también del medio de transporte (agua o aire) y sensibilidad al ruido de cada organismo.

El nivel de ruido generado por maquinaria en operación en la terminal varía en duración e intensidad, y será similar al producido por estructuras fijas de petróleo en distintas zonas del mundo, estando en el rango de 20-40 dB con frecuencia de entre 30 y 300 Hz a una distancia de 30 m de la fuente. El ruido generado por helicópteros y buques es muy variable en intensidad, dependiendo de la fuente. En el caso de peces, una exposición a niveles de sonido superior a 180 dB puede dañar permanentemente su capacidad auditiva.

Los equipos de la terminal, operarán a niveles de ruido entre 85 dB y 120 dB. Los buques atracados en el muelle de descarga, emitirán un nivel de ruido similar durante las operaciones de descarga.

En general, se considera que la mayoría de las especies marinas en la zona de donde se localiza la terminal pueden oír los ruidos producidos durante la fase de instalación y operación de la planta, si bien con distinto nivel de sensibilidad. El ruido generado por estas actividades, puede enmascarar sonidos importantes para los peces. En particular, el ruido agudo puede causar un cambio de comportamiento y movimientos de los peces, que afectaría a las actividades de pesca.

En cuanto a los mamíferos la fuente de ruido que más les afecta es el que se produce como consecuencia del paso de buques, sin que se considere que el malestar ocasionado sea atribuible totalmente a la planta.

2.6 Residuos sólidos

Durante las etapas de preparación del terreno para el montaje de la GBS, construcción de infraestructuras,... se pueden identificar los residuos:

- ✓ Residuos de embalaje
- ✓ Materiales de construcción no usados, recortes de tuberías y cableados,...

- ✓ Materiales de prueba
- ✓ Residuos de pinturas y disolventes
- ✓ Residuos de vehículos como neumáticos, aceites,...

Durante la fase de operación prácticamente no habrá generación de residuos sólidos, únicamente los generados en las zonas de habitabilidad, administración, ... que se pueden considerar como residuos sólidos urbanos y por tanto enviados a tierra para su tratamiento como tales.

TÍTULO: PLANTA DE REGASIFICIÓN OFFSHORE DE GNL

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N

15405 - FERROL

FECHA: JUNIO DE 2014

AUTOR: EL ALUMNO

Fdo.: JUAN SEBASTIAN REY PIÑON

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
2	TANQUES DE ALMACENAMIENTO.....	2
	2.1 <i>Dimensiones de cada tanque SPB.....</i>	2
	2.2 <i>Cálculo del calorifugado del tanque</i>	2
3	COMPRESORES DE BOIL-OFF GAS (BOG)	4
	3.1 <i>Desarrollo teórico.....</i>	4
	3.1.1 <i>Introducción.....</i>	4
	3.1.2 <i>Método de diseño.....</i>	6
	3.2 <i>Compresores K-301 A/B/C.....</i>	8
	3.2.1 <i>Introducción.....</i>	8
	3.2.2 <i>Diseño</i>	10
4	SEPARADORES GAS-LÍQUIDO	11
	4.1 <i>Desarrollo teórico.....</i>	11
	4.1.1 <i>Introducción.....</i>	11
	4.1.2 <i>Método de diseño.....</i>	12
	4.2 <i>Separador V-301.....</i>	14
	4.3 <i>Separador V-102.....</i>	16
5	INTERCAMBIADORES DE CALOR DE CARCASA Y TUBOS	
	18	
	5.1 <i>Desarrollo teórico.....</i>	18
	5.1.1 <i>Introducción.....</i>	18
	5.1.2 <i>Método de diseño.....</i>	20
	5.2 <i>Intercambiador de calor E-102.....</i>	40
	5.2.1 <i>Introducción.....</i>	40
	5.2.2 <i>Cálculo del calor intercambiado.....</i>	41
	5.2.3 <i>Cálculo del valor de ΔT_{ml}.....</i>	42

5.2.4	Cálculo del área de transferencia.....	43
5.2.5	Configuración del intercambiador.....	44
5.2.6	Cálculo de los coeficientes individuales de calor en el lado de tubos	46
5.2.7	Cálculo de la caída de presión.....	49
5.2.8	Resumen de valores obtenidos.....	50
5.3	<i>Intercambiador de calor E-301</i>	51
5.3.1	Introducción.....	51
5.3.2	Cálculo del calor intercambiado.....	52
5.3.3	Cálculo del valor de ΔT_m	53
5.3.4	Cálculo del área de transferencia.....	54
5.3.5	Configuración del intercambiador.....	55
5.3.6	Cálculo de los coeficientes individuales de calor en el lado de tubos	57
5.3.7	Cálculo de la caída de presión.....	60
5.3.8	Resumen de valores obtenidos.....	61
6	VAPORIZADORES DE AGUA DE MAR	62
6.1	<i>Desarrollo teórico</i>	62
6.1.1	Introducción.....	62
6.1.2	Diseño de los ORV (Open Rack Vaporizers).....	63
6.1.3	Obtención del calor intercambiado.....	64
6.1.4	Perfil de temperaturas.....	68
6.2	<i>Vaporizadores de agua de mar E-410 y E-420</i>	73
6.2.1	Introducción.....	73
6.2.2	Procedimiento de diseño.....	75
7	RELICUADOR DE BOIL-OFF GAS	79
7.1	<i>Desarrollo teórico</i>	79
7.1.1	Introducción.....	79
7.2	<i>Método de diseño</i>	80
7.2.1	Cantidad de calor intercambiado.....	80
7.2.2	Zona de relleno.....	83
7.2.3	Cálculo del tamaño inferior del tanque.....	84
7.3	<i>R-401</i>	85

7.3.1	Introducción.....	85
7.3.2	Cálculo de las características de la zona de condensación.....	86
7.3.3	Zona de almacenamiento de líquido	89
8	SISTEMAS DE IMPULSIÓN DE LÍQUIDOS.....	90
8.1	<i>Desarrollo teórico.....</i>	<i>90</i>
8.1.1	Introducción.....	90
8.1.2	Método de diseño.....	91
8.2	<i>Sistema de bombeo primario</i>	<i>94</i>
8.2.1	Introducción.....	94
8.2.2	Condiciones de diseño	95
8.3	<i>Sistema de bombeo secundario.....</i>	<i>97</i>
8.3.1	Introducción.....	97
8.3.2	Condiciones de diseño	97
8.4	<i>Sistema de bombeo de agua de mar.....</i>	<i>99</i>
8.4.1	Introducción.....	99
8.4.2	Condiciones de diseño	99
9	CÁLCULO DE TUBERÍAS.....	101
9.1	<i>Introducción.....</i>	<i>101</i>
9.2	<i>Características de las tuberías.....</i>	<i>103</i>

1 INTRODUCCIÓN

En primer lugar, antes de proceder a especificar los cálculos realizados para concretar los equipos utilizados en esta instalación, como ya se ha citado en el documento I de este proyecto, la composición del GNL varía en función de su procedencia,... Por ello, para todos los cálculos que se han realizado se ha elegido una composición determinada. Concretamente, se han elegido los parámetros medios del GNL procedente de Qatar entre marzo y junio de 2013. Estos parámetros se muestran en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Composición y propiedades del GNL

Composición molar	
Metano	89,569%
Etano	6,824%
Propano	2,383%
n-Butano	0,601%
i-Butano	0,405%
n-Pentano	0,004%
i-Pentano	0,015%
Pesados	0,000%
Nitrógeno	0,199%
Propiedades del GNL	
PCS ¹ (MJ/m ³)	44,21
PCS (MJ/kg)	54,49
IW ² (MJ/m ³)	55,81
ρ (kg/m ³)	458,67

¹ PCS: Poder calorífico superior.

² IW: Índice de Wobbe.

2 TANQUES DE ALMACENAMIENTO

2.1 Dimensiones de cada tanque SPB

Se ha dispuesto que cada uno de los dos tanques tenga una capacidad de almacenamiento de 150.000 m³ de GNL. Para ello, las dimensiones seleccionadas según las especificaciones del fabricante son de 155x35x30 m. El volumen bruto de este tanque sería de 162.750 m³. Debido a las paredes interiores y refuerzos estructurales del tanque, el volumen real de almacenamiento estará próximo a los 150.000 m³.

2.2 Cálculo del calorifugado del tanque

Los tanques de almacenamiento de GNL están diseñados para que la cantidad evaporada (BOG: Boil-off gas) por día no sea superior al 0,1% del volumen total de almacenamiento del tanque, suponiendo que todo el volumen del tanque estuviese lleno de líquido. Estos cálculos, debido a las mejoras en los diseños actuales de este tipo de tanques, se harán más restrictivos y se considerará un máximo de 0,05%.

$$\frac{kg_{BOG}}{día} = 0,05\% \cdot V_{tanque} \cdot \rho_{GNL} = 0,05\% \cdot 150.000 m^3 \cdot 460 \frac{kg}{m^3} = 34.500 \frac{kg}{día}$$

Esta es la cantidad máxima de BOG que se puede producir por día. Para que se evapore dicha cantidad de GNL se tiene que aportar al líquido una cantidad de calor que (sin considerar los efectos relacionados con diferencias de densidades,...) será intercambiada con el ambiente a través de las paredes del tanque.

$$Q = m \cdot \lambda \tag{2.1}$$

donde:

- ✓ Q: Cantidad de calor aportado al sistema (kJ/s)
- ✓ m: Cantidad de líquido evaporado (kg/s)
- ✓ λ: Calor latente de vaporización del GNL (kJ/kg)

Así:

$$Q = 34.500 \frac{kg}{día} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3.600 \text{ s}} \cdot 666 \frac{kJ}{kg} = 266 \text{ kW}$$

Como ya se ha dicho, se supone que esta cantidad de calor entra al tanque a través de las paredes del mismo. Por tanto, para calcular el espesor del aislamiento:

$$Q_T = 2 \cdot (Q_I + Q_{II} + Q_{III}) = 266 \text{ kW}$$

Donde Q_i será el calor intercambiado por cada una de las tres caras de diferente tamaño de las que consta el tanque (considerando las caras del tanque iguales dos a dos). El calor intercambiado por una cara plana viene representado por:

$$Q = \frac{\Delta T}{\sum_{j=1}^n \frac{L_j}{k_j A_j}} \quad (2.2)$$

donde:

- ✓ ΔT : Diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior del tanque.
- ✓ L_j : Espesor de cada una de las capas.
- ✓ k_j : Conductividad térmica del material
- ✓ A_j : Área transversal al intercambio de calor.

Para el caso que nos concierne, las propiedades correspondientes se muestran en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Datos para el cálculo del espesor del aislante

$T_{\text{interna}} (\text{°C})$	-160
$T_{\text{externa}} (\text{°C})$	20
$k_{\text{aislante}} (\text{W/m}\cdot\text{K})$	0,020
$k_{\text{pared}} (\text{W/m}\cdot\text{K})$	16,2
$A_{\text{I}} (\text{m}^2)$	155 m · 30 m
$A_{\text{II}} (\text{m}^2)$	35 m · 30 m
$A_{\text{III}} (\text{m}^2)$	155 m · 35 m

El material aislante que se usa son paneles rígidos de poliuretano (PUF), y las paredes del tanque son de acero AISI 304 con un 9% de níquel. Usando la ecuación (2.2) se obtiene que es necesario un espesor de aislante de **0,4 m**. Por razones de seguridad, se sobredimensiona dicho aislante un 25%, teniendo así un grosor de **0,5 m**.

3 COMPRESORES DE BOIL-OFF GAS (BOG)

3.1 Desarrollo teórico

3.1.1 Introducción

Los compresores se utilizan para aumentar la presión de una gran variedad de gases y vapores para un gran número de aplicaciones prácticas. Los principales tipos de compresores que se usan a nivel industrial son:

- ✓ **Reciprocantes:** son compresores de desplazamiento positivo que se utilizan habitualmente para caudales de gas pequeños y que

permiten trabajar con un elevado rango de presiones de descarga.

- ✓ **Centrífugos:** son los más usados a nivel industrial debido a su versatilidad y capacidad de funcionamiento durante largos periodos.
- ✓ **De flujo axial:** el flujo de gas es paralelo al eje del compresor y no cambia de sentido como en los centrífugos de flujo radial. Poseen un rango de operación pequeño (de 90 a 110 psig) aunque muy comunes para el uso industrial.

La forma de seleccionar el tipo de compresor más adecuado para las condiciones de operación suele ser mediante nomogramas muy comunes en la bibliografía. Uno de ellos se puede ver en la Figura 3.1.

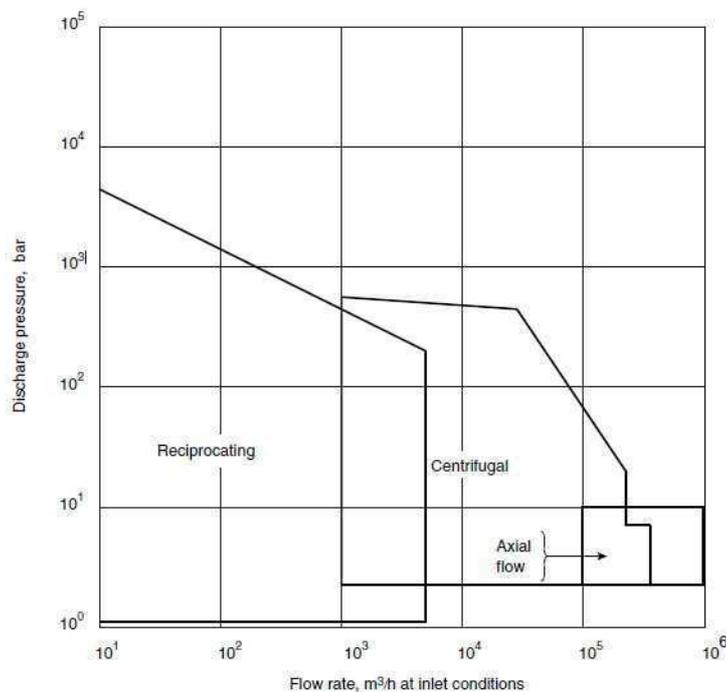


Figura 3.1. Rangos de operación de compresores

3.1.2 Método de diseño

3.1.2.1 Cálculo de la potencia

Para los compresores centrífugos normalmente se usa el método descrito en este apartado. Se puede utilizar la carga politrópica o la adiabática para calcular la potencia, mientras se use la eficiencia politrópica o adiabática con la carga correspondiente. Para los cálculos expuestos en esta memoria, se empleará la carga adiabática que se representa en la ecuación (3.1).

$$H_{adiab} = \frac{k}{k-1} \cdot \frac{Z \cdot R \cdot T_1}{P_M} \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (3.1)$$

donde:

- ✓ $H_{adib} \equiv$ carga adiabática, kJ/kg .
- ✓ $k \equiv$ exponente adiabático, C_p/C_v .
- ✓ $Z \equiv$ factor promedio de compresibilidad. Se tomará igual a uno.
- ✓ $R \equiv$ constante de los gases ideales: $8,314 \text{ kJ kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- ✓ $T_1 \equiv$ temperatura del gas a la entrada del compresor, K .
- ✓ $P_M \equiv$ peso molecular del gas, $kg/kmol$.
- ✓ $P_1 \equiv$ presión del gas de entrada, atm .
- ✓ $P_2 \equiv$ presión del gas de salida, atm .

Una vez calculada la carga adiabática, se calculará la potencia teórica según la ecuación (3.2).

$$Potencia_{teórica} = H_{adiab} \cdot m \quad (3.2)$$

siendo:

- ✓ $Potencia_{teórica} \equiv$ potencia teórica, kW.
- ✓ $m \equiv$ flujo másico del gas, kg/s.

La potencia real requerida por el compresor será aquella que tenga en cuenta la eficiencia del compresor. La eficiencia adiabática considerada será del 75%.

$$Potencia_{real} = \frac{Potencia_{teórica}}{\eta} \quad (3.3)$$

siendo:

- ✓ $Potencia_{real} \equiv$ potencia real que consume el compresor, kW.
- ✓ $\eta \equiv$ eficiencia adiabática de la compresión.

3.1.2.2 Cálculo del aumento de la temperatura en el compresor

El aumento teórico de la temperatura que experimenta el gas a su paso por el compresor se calcula mediante la ecuación (3.4).

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (3.4)$$

siendo:

- ✓ $k \equiv$ exponente adiabático.

- ✓ $P_1, P_2 \equiv$ presiones en la succión y en la descarga respectivamente, *atm*.
- ✓ $T_1, T_2 \equiv$ temperaturas en succión y descarga respectivamente, *K*.

El aumento real de la temperatura se calcula una vez conocida la potencia real mediante la ecuación (3.5).

$$T_{2\ real} = \frac{Potencia_{real}}{F \cdot C_p} + T_2 \quad (3.5)$$

siendo:

- ✓ $T_{2\ real} \equiv$ temperatura real a la salida del gas, *K*.
- ✓ $F \equiv$ flujo molar de gas, *kmol/h*.
- ✓ $Potencia_{real} \equiv$ potencia real requerida por el compresor, *kJ/h*.
- ✓ $C_p \equiv$ calor específico del gas, *kJ kmol⁻¹ K⁻¹*.

3.2 Compresores K-301 A/B/C

3.2.1 Introducción

El objetivo de estos compresores es comprimir todo el BOG que se forme en la terminal para enviarlo al relicuador (R-401) y evitar tener que enviarlo al sistema de antorcha. Aunque la cantidad de BOG que se forma por evaporación en los tanques ha sido calculado en el apartado 2.2 de esta anexo y asciende a 69.000 kg/día entre los dos tanques, los compresores serán dimensionados para que un único compresor sea capaz de acomodar 1,5 veces el BOG formado por evaporación. Este criterio se ha seleccionado debido a que la cantidad de BOG es una de las características críticas en cuanto a seguridad de la instalación. A parte de esta razón, durante la

descarga de buques, la cantidad de BOG aumenta considerablemente debido al calentamiento del sistema (tuberías y tanques de la terminal) por el trasiego del líquido criogénico. Por tanto, cada compresor será capaz de comprimir 4.313 kg/h de BOG. La composición estimada del BOG que ha sido considerada para el cálculo de los compresores es la que se muestra en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Composición estimada del BOG

Metano	99,81%
Etano	0,01%
Nitrógeno	0,18%

El objetivo de estos compresores es que la corriente de salida salga a 11 bar.

Tabla 3.2. Datos de la corriente de entrada de BOG al compresor

Corriente de entrada a compresor	
Temperatura	-140 °C; 133 K
Presión	1,26 bar; 126.000 Pa
Flujo másico	4.313 kg/h
Peso molecular	16,07
Densidad	1,878 kg/h
Flujo volumétrico	2.297 m ³ /h
C _p /C _v	1,362

Con el caudal volumétrico y la presión de salida y mediante la Figura 3.1 se decide que los compresores serán de tipo centrífugo.

Los datos de la corriente de salida se muestran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Datos de la corriente de salida de BOG del compresor

Corriente de salida de compresor	
Temperatura	-34,91 °C; 238,04 K ³
Presión	11,26 bar; 1.126.000 Pa
Flujo másico	4.313 kg/h
Peso molecular	16,07
Densidad	9,61 kg/h
Flujo volumétrico	435,21 m ³ /h
C _P /C _V	1,389

3.2.2 Diseño

3.2.2.1 Cálculo de la potencia

Aplicando las ecuaciones expuestas en el apartado 3.1.2.1, y considerando las características particulares del sistema gaseoso con el que se trabaja, se obtiene los valores que se reflejan en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Datos y resultados para el cálculo de la potencia

T ₁	-140 °C; 133 K
P ₁	1,26 bar; 126.000 Pa
Flujo másico	4.313 kg/h
Peso molecular (P _M)	16,07
Densidad	9,61 kg/h
R	8,314 kJ·kmol ⁻¹ K ⁻¹
k=C _P /C _V	1,362
P ₂	11,26 bar
H _{adiab}	204,47 kJ/kg

³ Este valor ha sido calculado en el apartado 3.2.2.2 de este documento

Potencia _{teórica}	244,61 kW
m	1,2 kg/s
η	75%
Potencia_{real}	326,15 kW

3.2.2.2 Cálculo del aumento de temperatura

Tabla 3.5. Datos y resultados para el cálculo del aumento de temperatura

T_1	-140 °C
P_1	1,26 bar
P_2	11,26 bar
$T_{2 \text{ teórica}}$	-34,96 °C
F	268,5 kmol/h
$k_{\text{medio}}=C_P/C_V$	1,375
Potencia _{real}	326,15 kW
$T_{2 \text{ real}}$	238,08 K

4 SEPARADORES GAS-LÍQUIDO

4.1 Desarrollo teórico

4.1.1 Introducción

Este tipo de separadores se usan para separar gotas de líquido que pueden ser arrastradas en una corriente de gas. Suelen ser utilizados como medida de protección antes de una etapa de compresión, para impedir que entre líquido en los compresores, o para una corriente en donde no interesa que exista líquido debido a problemas de transporte y/o almacenamiento. Dentro de este tipo de separadores puede haberlos verticales u horizontales, en función de la cantidad de líquido que puede ser separado.

4.1.2 Método de diseño

4.1.2.1 Cálculo de la velocidad de sedimentación

Para estimar la velocidad de sedimentación de las gotas se usa la ecuación (4.1)

$$u_t = 0,07 \cdot \left[\frac{(\rho_L - \rho_v)}{\rho_v} \right]^{1/2} \quad (4.1)$$

donde:

- ✓ $u_t \equiv$ velocidad de sedimentación, m/s .
- ✓ $\rho_L \equiv$ densidad del líquido, kg/m^3 .
- ✓ $\rho_v \equiv$ densidad del vapor, kg/m^3 .

Si no se usa una rejilla para separación de gotas, el valor de u_t obtenido por la ecuación (4.1) debería multiplicarse por un factor de 0,15 para proporcionar un margen de seguridad.

4.1.2.2 Separador vertical

En la Figura 4.1 se muestra la configuración típica de un separador vertical de líquido-vapor.

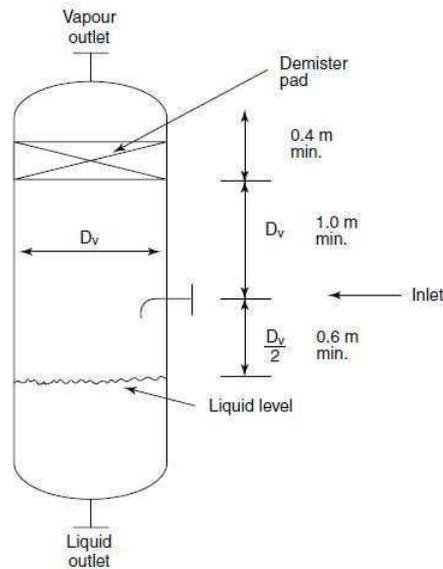


Figura 4.1. Separador vertical líquido-vapor

El diámetro del separador se calcula mediante la ecuación 4.2

$$D_v = \sqrt{\frac{4 \cdot V_v}{\pi \cdot u_s}} \quad (4.2)$$

donde:

- ✓ $D_v \equiv$ diámetro mínimo del tanque, m .
- ✓ $V_v \equiv$ Caudal volumétrico del vapor, m^3/s .
- ✓ $u_s = u_t$ para el caso que se considera con, rejilla separadora de gotas, m/s .

El nivel del líquido depende del tiempo que sea necesario retener dicho líquido. Suele usarse un tiempo de residencia de 10 min para el diseño de este tipo de separadores.

4.2 Separador V-301

Este separador se coloca antes de la entrada de los compresores de BOG para que sirva como aspiración de los mismos y para separar los posibles restos de líquido que pudiesen ir arrastrados en la corriente de vapor. Para el diseño del V-301 se consideran las condiciones que se muestran en la Tabla 4.1 y en la Tabla 4.2

Tabla 4.1. Propiedades de la corriente de entrada al V-301

<i>Caudal (kmol/h)</i>	805,4
<i>Peso molecular</i>	16,07

Metano	0,9981
Etano	0,0001
Propano	0
n-Butano	0
i-Butano	0
n-Pentano	0
i-Pentano	0
Nitrógeno	0,0018

Tabla 4.2. Características de la corriente al V-301

CORRIENTE DE VAPOR	
T_{entrada} (K)	133
T_{salida} (K)	133
T_m (K)	133
P (kPa)	126
ρ_v (kg/m ³)	2,292
ρ_l (kg/m ³)	446,33
Caudal _{vapor} (kg/h)	12.939

Aunque a las condiciones en las que a priori entra el vapor en el separador no existe líquido, se considera a efectos de diseño que la corriente puede arrastrar un 10% de líquido, esto es 1.293 kg/h de líquido.

En primer lugar, mediante la ecuación (4.1) se puede estimar la velocidad de sedimentación que será:

$$u_t = 0,97 \text{ m/s}$$

Conociendo la velocidad de sedimentación se puede estimar el diámetro mínimo del tanque mediante la ecuación (4.2) que resulta ser $D_V=1,43 \text{ m}$.

Considerando un tiempo de residencia de 10 minutos para el líquido en el tanque, y suponiendo que el tanque tiene forma cilíndrica se calcula un volumen de líquido en 10 minutos de $0,48 \text{ m}^3$ que equivalen a una altura de líquido de 0,3 m. En la Figura 4.2 se muestran las dimensiones del equipo. Se ha dimensionado con un 10% de margen.

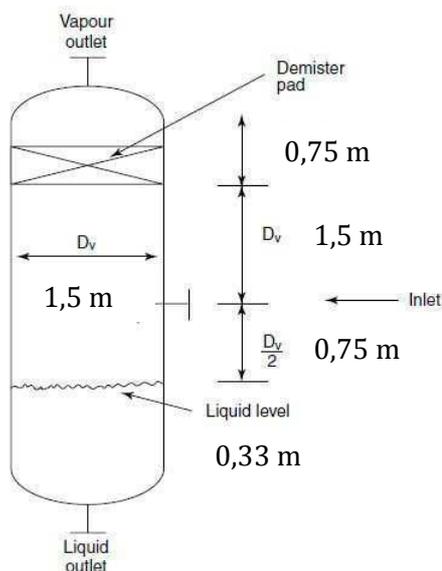


Figura 4.2. Dimensiones del V-301

4.3 Separador V-102

Este separador se coloca después de la salida del cambiador de calor E-102 y antes del brazo de retorno de vapor L-102 para separar los posibles restos de líquido que pudiesen ir arrastrados en la corriente de vapor. Para el diseño del V-102 se consideran las condiciones que se muestran en la Tabla 4.3 y en la Tabla 4.4.

Tabla 4.3. Propiedades de la corriente de entrada al V-102

<i>Caudal (kmol/h)</i>	498
<i>Peso molecular</i>	16,07

Metano	0,9981
Etano	0,0001
Propano	0
n-Butano	0
i-Butano	0
n-Pentano	0
i-Pentano	0
Nitrógeno	0,0018

Tabla 4.4. Características de la corriente al V-102

	CORRIENTE DE VAPOR
T_{entrada} (K)	133
T_{salida} (K)	133
T_m (K)	133
P (kPa)	126

$\rho_v(\text{kg/m}^3)$	2,292
$\rho_l(\text{kg/m}^3)$	446,33
Caudal _{vapor} (kg/h)	7.984

Aunque a las condiciones en las que a priori entra el vapor en el separador no existe líquido, se considera a efectos de diseño que la corriente puede arrastrar un 10% de líquido, esto es 798,4 kg/h de líquido.

En primer lugar, mediante la ecuación (4.1) se puede estimar la velocidad de sedimentación que será:

$$u_t = 0,97 \text{ m/s}$$

Conociendo la velocidad de sedimentación se puede estimar el diámetro mínimo del tanque mediante la ecuación (4.2) que resulta ser **$D_v=1,12 \text{ m}$** .

Considerando un tiempo de residencia de 10 minutos para el líquido en el tanque, y suponiendo que el tanque tiene forma cilíndrica se calcula un volumen de líquido en 10 minutos de $0,3 \text{ m}^3$ que equivalen a una altura de líquido de 0,3 m. En la Figura 4.2 se muestran las dimensiones del equipo. Se ha dimensionado con un 10% de margen.

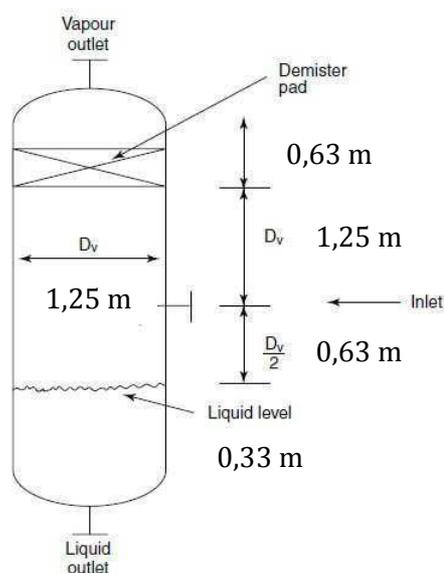


Figura 4.3. Dimensiones del V-102

5 INTERCAMBIADORES DE CALOR DE CARCASA Y TUBOS

5.1 Desarrollo teórico

5.1.1 Introducción

En este apartado del proyecto, se describen los intercambiadores de carcasa y tubos usados. Este tipo de equipos es el más extendido a nivel industrial para el intercambio de calor, debido a su gran versatilidad, a su sencilla configuración y a su elevada relación entre el área de intercambio y el volumen.

Este tipo de intercambiadores consiste en un haz de tubos encerrados por una carcasa cilíndrica. Por cada uno de los espacios circulan los fluidos que intercambian calor (por los tubos y por la carcasa), estando perfectamente aislados el uno del otro. Se colocan baffles en el lado de la carcasa con el fin de dirigir el fluido y sostener los tubos.

Existen distintas clases dentro de este tipo de equipos, entre las cuales cabe destacar:

- ✓ **De tubo fijo; es el más simple y el más barato.** Consiste en un haz de tubos fijados a unos platos circulares situados en los extremos de la carcasa. Su principal desventaja es la imposibilidad de retirar el haz de tubos para su limpieza.
- ✓ **De tubos en U.** El haz de tubos se configura en forma de U, de tal forma que únicamente es necesario un plato de sujeción en uno de los extremos del cambiador. Su uso se encuentra limitado generalmente a fluidos limpios, debido a la dificultad que conlleva su limpieza.
- ✓ **De cabezal flotante.** Son más versátiles que los dos tipos anteriores, y son adecuados para altas diferencias de temperatura y fluidos sucios. En este caso, el cabezal de sujeción no está fijo, con lo cual el haz de tubos puede ser retirado para su limpieza.

Las características mecánicas de diseño y los materiales de construcción de este tipo de intercambiadores se encuentran cubiertas en el *British Standard BS 3274*. También son de uso generalizado los de la *American Tubular Heat Exchanger Manufacturers Association (TEMA)*. Estos standards proporcionan las dimensiones del intercambiador preferidas, las tolerancias de diseño y fabricación, la corrosión máxima permitida y el stress recomendado de los materiales de construcción.

5.1.2 Método de diseño

5.1.2.1 Obtención del calor intercambiado

En el intercambio de calor sensible entre dos corrientes de proceso se cumple que:

$$Q_s = m_1 \cdot C_{P1} \cdot (T_{f1} - T_{01}) = m_2 \cdot C_{P2} \cdot (T_{02} - T_{f2}) \quad (5.1)$$

donde:

- ✓ $Q_s \equiv$ calor sensible intercambiado entre las corrientes 1 y 2, W .
- ✓ $m_1 \equiv$ caudal másico de la corriente 1, kg/s .
- ✓ $T_{01} \equiv$ temperatura inicial de la corriente 1, K .
- ✓ $T_{f1} \equiv$ temperatura final de la corriente 1, K .
- ✓ $C_{P1} \equiv$ calor específico de la corriente 1, $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$.
- ✓ $m_2 \equiv$ caudal másico de la corriente 2, kg/s .
- ✓ $T_{02} \equiv$ temperatura inicial de la corriente 2, K .
- ✓ $T_{f2} \equiv$ temperatura final de la corriente 2, K .
- ✓ $C_{P2} \equiv$ calor específico de la corriente 2, $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$.

En el caso de que exista evaporación o condensación en el sistema, al término de calor sensible habrá que sumarle el término correspondiente al calor absorbido/cedido mediante este mecanismo, de forma que:

$$Q_l = m \cdot \lambda \quad (5.2)$$

siendo:

- ✓ $Q_l \equiv$ calor cedido o absorbido por el sistema, W .
- ✓ $m \equiv$ caudal másico de la corriente evaporada o condensada, kg/s .
- ✓ $\lambda \equiv$ calor latente de vaporización de la corriente, J/kg .

De esta forma, el calor total (W) intercambiado se calcula mediante la ecuación (5.3).

$$Q_T = Q_s + Q_l \quad (5.3)$$

5.1.2.2 Ecuación de diseño para un intercambiador

La ecuación general para la transmisión de calor a través de una superficie se corresponde con:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_m \quad (5.4)$$

siendo:

- ✓ $Q \equiv$ calor transferido por unidad de tiempo, W .
- ✓ $U \equiv$ coeficiente global de transmisión de calor, $W \cdot m^{-2} K^{-1}$.
- ✓ $A \equiv$ área de intercambio de calor, m^2 .
- ✓ $\Delta T_m \equiv$ diferencia media de temperatura, K .

El principal objetivo en el diseño de un intercambiador de calor es determinar la superficie de intercambio requerida para un determinado flujo de calor utilizando la diferencia de temperaturas disponible. Mediante la ecuación

(5.4) y conociendo el calor total transferido según el apartado 5.1.2.1, se calcula el área de transferencia del intercambiador para una cantidad de calor determinada.

El coeficiente global de transmisión de calor es la inversa de la resistencia global a la transmisión, que es la suma de la serie de resistencias individuales. Para el intercambio de calor a través de un cambiador de calor de tubos, la relación entre los coeficientes individuales y el coeficiente global de calor viene definido por:

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{h_0} + \frac{1}{h_{0d}} + \frac{d_0 \cdot \ln(d_0/d_i)}{2 \cdot k_w} + \frac{d_0}{d_i} \cdot \frac{1}{h_{id}} + \frac{d_0}{d_i} \cdot \frac{1}{h_i} \quad (5.5)$$

siendo:

- ✓ $U \equiv$ coeficiente integral de transmisión de calor, $W \cdot m^{-2} K^{-1}$.
- ✓ $h_i \equiv$ coeficiente de convección en el interior de los tubos, $W \cdot m^{-2} K^{-1}$.
- ✓ $h_e \equiv$ coeficiente de convección en el lado de la carcasa, $W \cdot m^{-2} K^{-1}$.
- ✓ $h_{id} \equiv$ factor de ensuciamiento interno, $W \cdot m^{-2} K^{-1}$.
- ✓ $h_{od} \equiv$ factor de ensuciamiento externo, $W \cdot m^{-2} K^{-1}$.
- ✓ $k_w \equiv$ conductividad térmica del material, $W \cdot m^{-1} K^{-1}$.
- ✓ $d_o \equiv$ diámetro externo de los tubos, m .
- ✓ $d_i \equiv$ diámetro interno de los tubos, m .

La magnitud de los coeficientes individuales dependerá del tipo de proceso de transmisión de calor (conducción, convección, condensación, ebullición o radiación), de las características físicas de los fluidos, de los

caudales y de la disposición física de las superficies dentro del intercambiador. En la Tabla 5.1 se presentan valores típicos del coeficiente integral de transmisión de calor para distintas situaciones.

Tabla 5.1. Coeficientes globales de transmisión de calor típicos para distintas situaciones

Shell and tube exchangers		
Hot fluid	Cold fluid	U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
<i>Heat exchangers</i>		
Water	Water	800–1500
Organic solvents	Organic solvents	100–300
Light oils	Light oils	100–400
Heavy oils	Heavy oils	50–300
Gases	Gases	10–50
<i>Coolers</i>		
Organic solvents	Water	250–750
Light oils	Water	350–900
Heavy oils	Water	60–300
Gases	Water	20–300
Organic solvents	Brine	150–500
Water	Brine	600–1200
Gases	Brine	15–250
<i>Heaters</i>		
Steam	Water	1500–4000
Steam	Organic solvents	500–1000
Steam	Light oils	300–900
Steam	Heavy oils	60–450
Steam	Gases	30–300
Dowtherm	Heavy oils	50–300
Dowtherm	Gases	20–200
Flue gases	Steam	30–100
Flue	Hydrocarbon vapours	30–100
<i>Condensers</i>		
Aqueous vapours	Water	1000–1500
Organic vapours	Water	700–1000
Organics (some non-condensibles)	Water	500–700
Vacuum condensers	Water	200–500
<i>Vaporisers</i>		
Steam	Aqueous solutions	1000–1500
Steam	Light organics	900–1200
Steam	Heavy organics	600–900

Muchos de los fluidos de proceso pueden ensuciar las superficies del intercambiador en mayor o menor medida. El material que se deposita suele tener generalmente una conductividad térmica baja (referida al material del intercambiador), y esto se traduce en una disminución de los coeficientes

globales de transmisic
 para prevenir la dismi
 operación de intercan
 la ecuación (5.4) los
 factores de ensuciami
 la experiencia. Los v
 diferentes fluidos de p

Tabla 5.2. Valor

Fluid
River wa
Sea wate
Cooling
Towns w
Towns w
Steam cc
Steam (o
Steam Co

5.1.2.3 Cálculo de la

Para poder cal
 es necesario conoc
 logarítmica. Ésta se
 temperatura entre los
 contracorriente se def

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_e - t_s) - (T_s - t_e)}{\ln\left(\frac{T_e - t_s}{T_s - t_e}\right)} \quad (5.6)$$

siendo:

- ✓ $\Delta T_{ml} \equiv$ diferencia de temperaturas media logarítmica, K .
- ✓ $T_e \equiv$ temperatura de entrada del fluido que circula por la carcasa, K .
- ✓ $T_s \equiv$ temperatura de salida del fluido que circula por la carcasa, K .
- ✓ $t_e \equiv$ temperatura de entrada del fluido que circula por los tubos, K .
- ✓ $t_s \equiv$ temperatura de salida del fluido que circula por los tubos, K .

Normalmente, a esta diferencia de temperaturas, se le aplica un factor de corrección, de forma que se obtiene:

$$\Delta T_{ml \text{ real}} = \Delta T_{ml} \cdot F \quad (5.7)$$

siendo:

- ✓ $\Delta T_{ml \text{ real}} \equiv$ diferencia de temperaturas media logarítmica real, K .
- ✓ $F \equiv$ factor de corrección de la temperatura.

El factor de corrección es función de las temperaturas de los fluidos de la carcasa y de los tubos, así como del número de pasos de la carcasa y de los tubos. Se lee en gráficas en función de los parámetros adimensionales R y S :

$$R = \frac{T_e - t_s}{t_s - t_e} \quad (5.8)$$

$$S = \frac{t_s - t_e}{T_e - t_e} \quad (5.9)$$

Para los intercambiadores de calor diseñados, se consultarán las gráficas correspondientes a un paso por la carcasa y dos pasos por los tubos, tal y como se muestra en la Figura 5.1

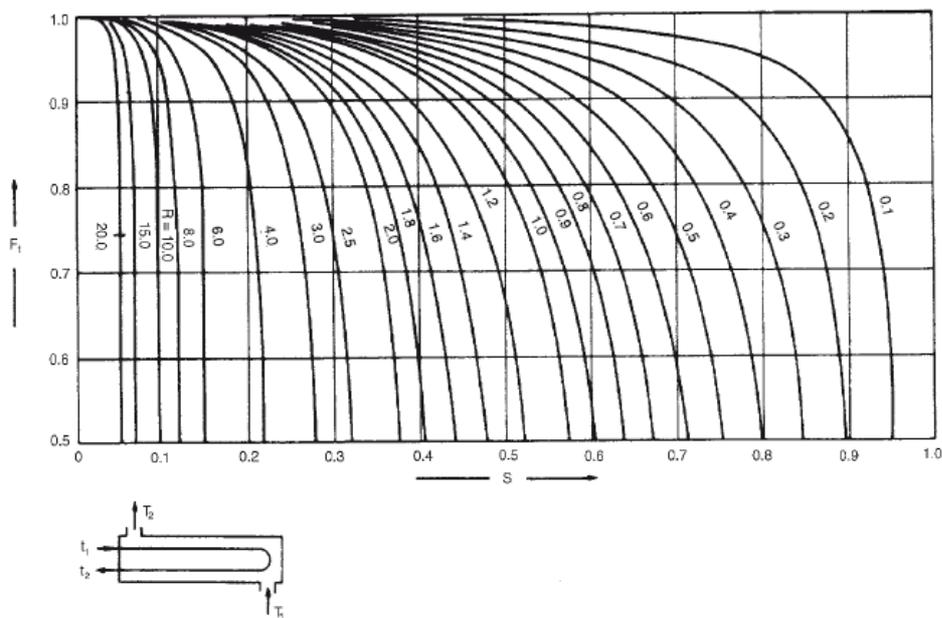


Figura 5.1. Factor de corrección de la temperatura para un paso por carcasa y dos por tubos

5.1.2.4 Configuración del intercambiador

5.1.2.4.1 Tubos

El diámetro de los tubos utilizados en intercambiadores de calor van desde 5/8 a 2 pulgadas. Éste se escogerá en función de la suciedad de los

fluidos y de la disposición del área de transferencia. El espesor del tubo vendrá dado por los standards en función de la presión interna y de la corrosión permitida.

Una serie de diámetros y de espesores estandarizados de tubo según sus dimensiones normales americanas se pueden consultar en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Diámetros normalizados de las tuberías.

Diámetro nominal (pulgadas)	Diámetro interno (mm)	Diámetro externo (mm)	Espesor (mm)
1	26,7	33,4	3,35
1 ¼	35,0	42,1	3,55
1 ½	40,9	48,3	3,7
2	52,5	60,3	3,9
2 ½	62,8	73,0	5,1

En lo referente a longitudes, los valores más habituales son los de: 1,83 m (6 ft), 2,44 m (8 ft), 3,66 m (12 ft), 4,88 m (16 ft).

Una vez seleccionados los tubos podrá calcularse el número de ellos necesario para cada intercambiador en concreto. Para eso será necesario conocer el área externo de intercambio de cada tubo, que se calcula mediante la ecuación (5.10).

$$A_t = \pi \cdot d_o \cdot L \quad (5.10)$$

siendo:

- ✓ $A_t \equiv$ área externa de cada tubo, m^2 .
- ✓ $d_o \equiv$ diámetro externo de tubo, m .
- ✓ $L \equiv$ longitud de tubo, m .

El número de tubos vendrá dado por la ecuación (5.11).

$$N = \frac{A}{A_t} \quad (5.11)$$

donde:

- ✓ $N \equiv$ número de tubos.
- ✓ $A \equiv$ área de transmisión necesario, m^2 .

Estos tubos normalmente se pueden disponer en el cambiador siguiendo tres esquemas generales: en forma de triángulo equilátero, de cuadrado o de cuadrado rotado. Las configuraciones triangulares y cuadradas rotadas dan mejores tasas de transmisión de calor, aunque la forma cuadrada es más conveniente cuando se requieran menores caídas de presión. La distancia recomendada entre centros de tubos (pitch) suele ser 1,25 veces el diámetro externo del tubo. Un esquema de estas configuraciones se muestra en la Figura 5.2.

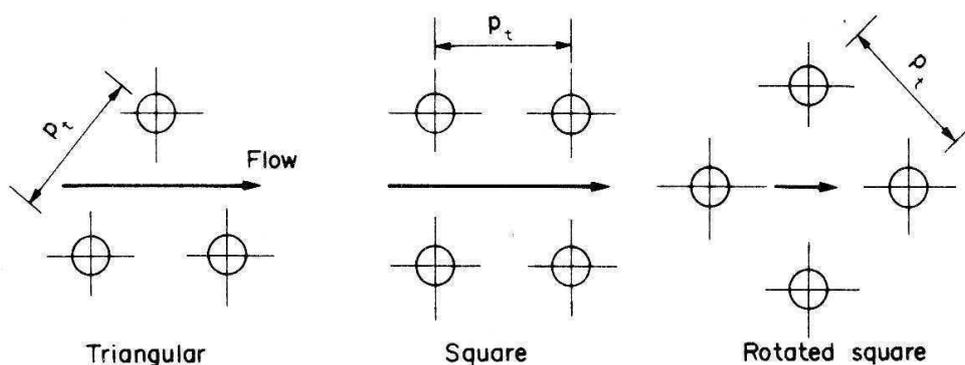


Figura 5.2. Disposición de tubos en el intercambiador

A los tubos de un cambiador se les puede dar un número de pasos determinado, de forma que se dispongan en paralelo consigo mismos. El

número de pasos se selecciona en función de la velocidad de diseño del fluido que circula por los tubos.

5.1.2.4.2 Carcasa

El diámetro de la carcasa se debe seleccionar en función del diámetro del haz de tubos. El espacio a mayores entre el haz y la carcasa se seleccionará en función del tipo de intercambiador y de las tolerancias de fabricación.

El diámetro del haz de tubos dependerá del número de tubos y de pasos de los mismos. Una forma de calcular el diámetro del haz es mediante la ecuación (5.12), la cual se basa en una correlación empírica obtenida a partir de configuraciones de intercambiadores de calor standard.

$$D_b = d_o \cdot \left(\frac{N}{K_1}\right)^{\frac{1}{n_1}} \quad (5.12)$$

siendo:

- ✓ $N \equiv$ número de tubos.
- ✓ $D_b \equiv$ diámetro del haz de tubos, m .
- ✓ $d_o \equiv$ diámetro externo del tubo, m .

Las constantes K_1 y n_1 que se usan en la ecuación (5.12) se muestran en la Tabla 5.4 y en la Tabla 5.5, en función de la configuración de los tubos y considerando en ambos casos un pitch de 1,25 veces el diámetro externo de los tubos.

Tabla 5.4. Constantes de la ecuación (5.12) para un pitch triangular

Numero de pasos	1	2	4	6	8
K_1	0,319	0,249	0,175	0,074 3	0,036 5
n_1	2,142	2,207	2,285	2,499	2,675

Tabla 5.5. Constantes de la ecuación (5.12) para un pitch rectangular

Numero de pasos	1	2	4	6	8
K_1	0,215	0,156	0,158	0,040 2	0,033 1
n_1	2,207	2,291	2,263	2,617	2,643

El diámetro de la carcasa será calculado con la ecuación (5.13).

$$D_s = D_b + D_{s-b} \quad (5.13)$$

donde:

- ✓ $D_s \equiv$ diámetro total de la carcasa del cambiador, m .
- ✓ $D_b \equiv$ diámetro del haz de tubos, m .
- ✓ $D_{s-b} \equiv$ espaciado entre la carcasa y el haz de tubos, m .

El espaciado entre la carcasa (D_{s-b}) y el haz de tubos puede estimarse siguiendo la Figura 5.3, en función del tipo de intercambiador y el diámetro del haz de tubos.

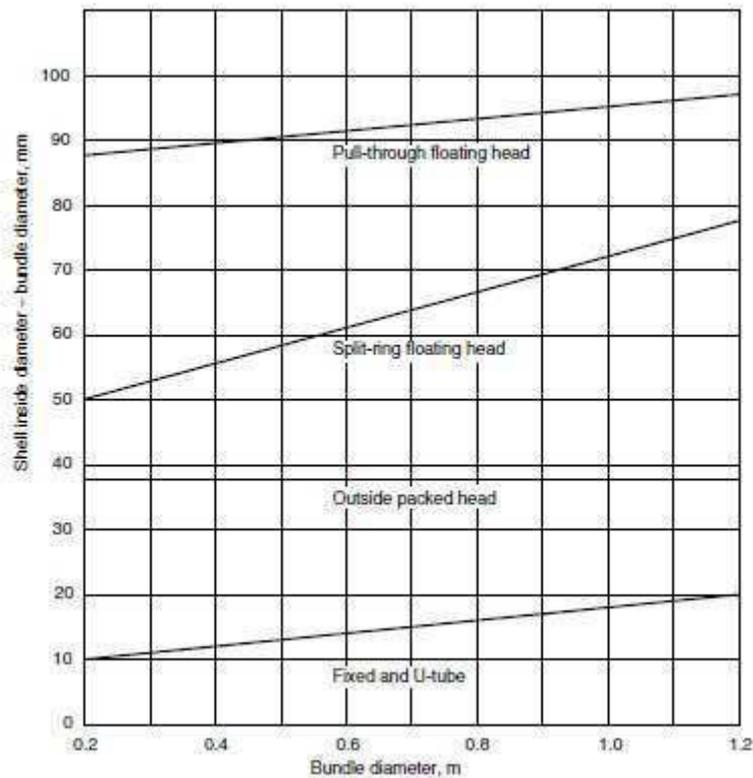


Figura 5.3. Espaciado entre la carcasa y el haz de tubos

5.1.2.4.3 Baffles

Los baffles se usan en la carcasa para dirigir el fluido, de forma que se aumente la velocidad del mismo, mejorando la transmisión de calor. Para baffles segmentales, el llamado corte del baffle se usa para especificar las dimensiones del baffle con respecto a la carcasa, definiéndose como el porcentaje que el disco deja libre para el paso del fluido en la carcasa. Generalmente, se usan baffles del 25%, los cuales proporcionan buenos intercambios de calor sin causar excesivas caídas de presión. En la Figura 5.4 se presenta un esquema de la disposición de los baffles en el interior del cambiador.

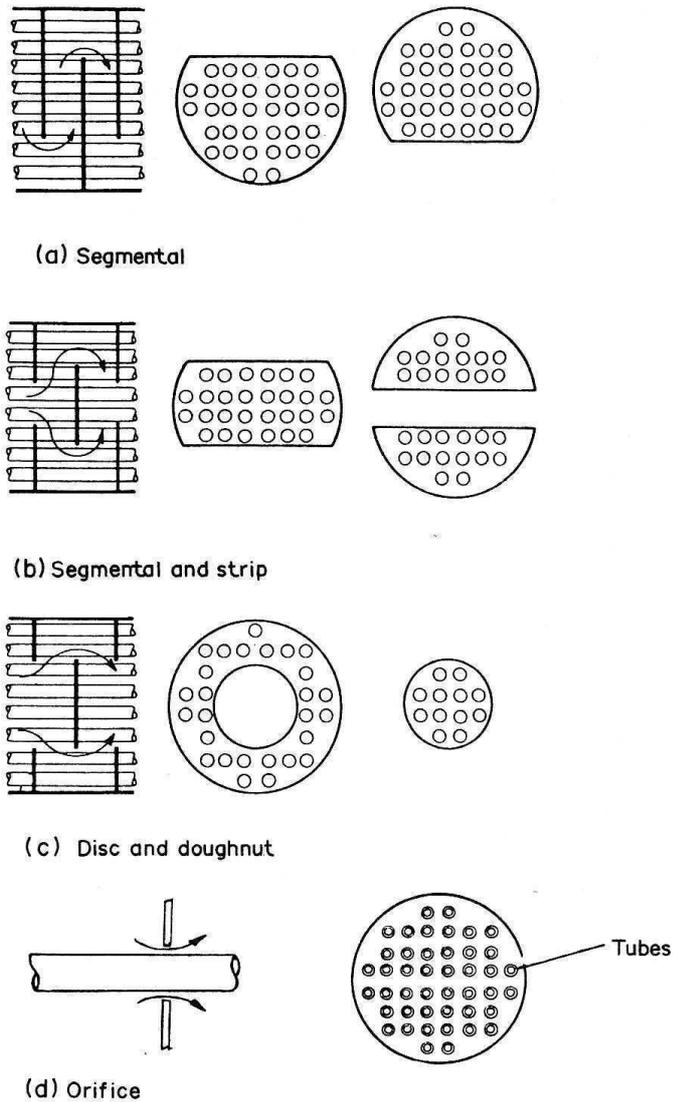


Figura 5.4. Esquema de la disposición de los bafles

El número de bafles es una variable que influirá en gran medida en la caída de presión que se produce en el equipo. Para calcularlo, se parte de tomar un espacio entre ellos, que viene relacionado por la ecuación (5.14).

$$l_B = \frac{D_s}{e} \quad (5.14)$$

donde:

- ✓ $l_B \equiv$ espaciado entre los bafles en el cambiador, m .
- ✓ $D_s \equiv$ diámetro de la carcasa, m .
- ✓ $e \equiv$ este valor se encuentra comprendido entre 2 y 5.

El número de bafles, por tanto, vendrá dado por:

$$N_B = \frac{L}{l_B} - 1 \quad (5.15)$$

siendo:

- ✓ $N_B \equiv$ número de bafles.
- ✓ $L \equiv$ longitud del cambiador, m .

5.1.2.5 Cálculo de los coeficientes individuales de transmisión de calor

5.1.2.5.1 Coeficiente individual del lado de tubos

Para condiciones de flujo turbulento, en el interior de una tubería, el coeficiente individual de transmisión de calor h_i se suele calcular atendiendo a la correlación (5.16).

$$\frac{h_i \cdot d_i}{k_f} = j_h \cdot Re \cdot Pr^{0,33} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (5.16)$$

donde:

- ✓ $h_i \equiv$ coeficiente interno de transmisión de calor, $W \cdot m^{-2} K^{-1}$.
- ✓ $d_e \equiv$ diámetro equivalente, m . (Diámetro interno para los tubos).

- ✓ $k_f \equiv$ conductividad térmica del fluido, $W \cdot m^{-1} K^{-1}$.
- ✓ $j_H \equiv$ factor de corrección.
- ✓ $Re \equiv$ módulo de Reynolds que, siguiendo la nomenclatura ya utilizada, es:

$$Re = \frac{\rho \cdot u \cdot d_i}{\mu}$$

- ✓ $Pr \equiv$ número de Prandtl, que es:

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k_f}$$

- ✓ $\mu \equiv$ viscosidad del fluido, $kg \cdot m^{-1} s^{-1}$.
- ✓ $\mu_w \equiv$ viscosidad del fluido en la pared, $kg \cdot m^{-1} s^{-1}$.

El factor de corrección j_H se puede consultar en la Figura 5.5.

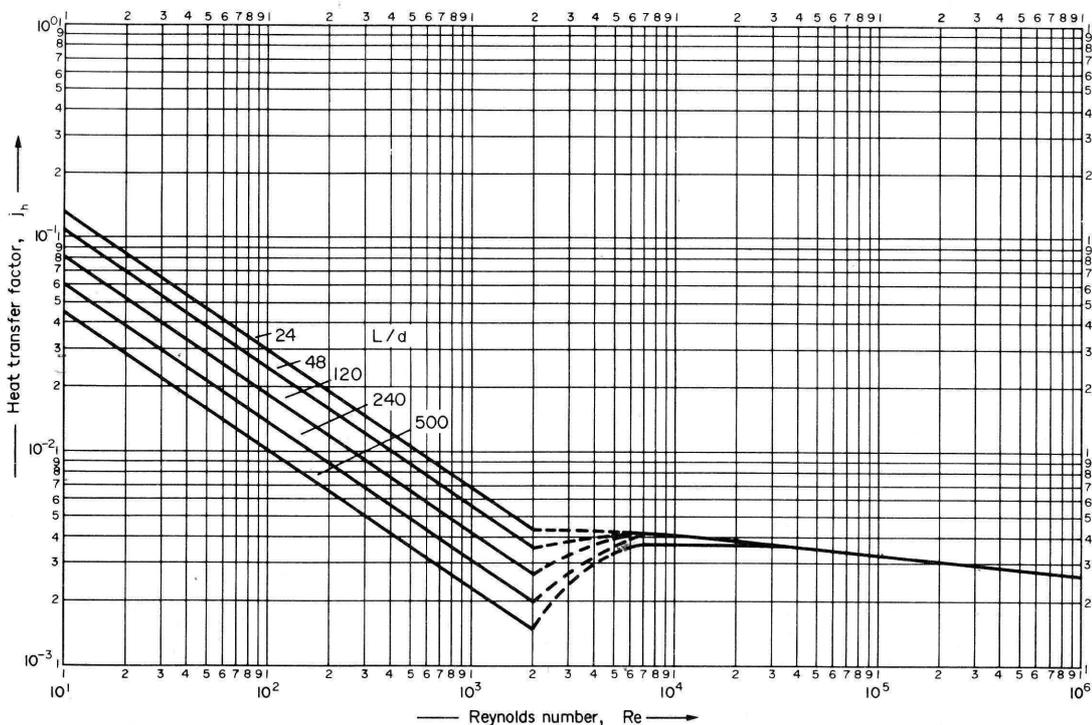


Figura 5.5, Factor de corrección, j_H

Las propiedades del fluido se evalúan a la temperatura media de la corriente entre la entrada y la salida. El factor de corrección ligado a las viscosidades normalmente sólo tendrá relevancia para los fluidos viscosos o cambios de temperatura muy drásticos. En la mayoría de las ocasiones se podrá asimilar a la unidad.

5.1.2.5.2 Coeficiente individual del lado de la carcasa

Para calcular el coeficiente individual del lado de la carcasa, se usará el método propuesto por Kern (1950). El procedimiento para su determinación es el siguiente:

1. Calcular el área de flujo, A_s , por el hipotético haz de tubos por el lado de la carcasa mediante la ecuación (5.17).

$$A_s = \frac{(p_t - d_o) \cdot D_s \cdot l_B}{p_t} \quad (5.17)$$

donde:

- ✓ $p_t \equiv$ pitch de los tubos, m .
 - ✓ $d_o \equiv$ diámetro exterior de los tubos, m .
 - ✓ $D_s \equiv$ diámetro de la carcasa, m .
 - ✓ $l_B \equiv$ espaciado entre los baffles, m .
2. Se calcula la velocidad másica a través de la carcasa, G_S , y la velocidad lineal, u_s , con las ecuaciones (5.18) y (5.19).

$$G_s = \frac{W_s}{A_a} \quad (5.18)$$

$$u_s = \frac{G_s}{\rho} \quad (5.19)$$

siendo:

✓ $W_s \equiv$ flujo másico del fluido por la carcasa, kg/s .

✓ $\rho \equiv$ densidad del fluido de la carcasa, kg/m^3 .

3. Calcular el diámetro equivalente de la carcasa:

Pitch rectangular:
$$d_e = \frac{1,27}{d_0} \cdot (p_t^2 - 0,785 \cdot d_0^2) \quad (5.20)$$

Pitch triangular:
$$d_e = \frac{1,10}{d_0} \cdot (p_t^2 - 0,917 \cdot d_0^2) \quad (5.21)$$

siendo:

✓ $d_e \equiv$ diámetro equivalente, m .

4. Calcular el número de Reynolds y el Prandtl para el fluido de la carcasa y así poder determinar el Nusselt.

$$Nu = 0,36 \cdot Re^{0,55} \cdot Pr^{0,33} \quad (5.22)$$

5. Calcular el coeficiente de transmisión de calor externo, h_0 , en función del valor del Nusselt calculado con la ecuación (5.22).

$$h_0 = \frac{Nu \cdot k_f}{d_e} \quad (5.23)$$

5.1.2.6 Cálculo de la caída de presión

5.1.2.6.1 Cálculo de la caída de presión del lado de tubos

En el lado de los tubos existen dos fuentes básicas de pérdidas de presión, como son el factor de fricción de los propios tubos y las pérdidas debidas a contracciones, expansiones o remolinos del fluido a su paso por el intercambiador.

La ecuación general para el cálculo de la caída de presión del fluido que circula por los tubos, considerando una corrección para tener en cuenta el número de pasos es la ecuación (5.24).

$$\Delta P_t = N_p \cdot \left[8 \cdot j_f \cdot \left(\frac{L}{d_i} \right) \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-m} + 2,5 \right] \cdot \frac{\rho \cdot u_t^2}{2} \quad (5.24)$$

donde:

- ✓ $\Delta P_t \equiv$ caída de presión del lado de los tubos, Pa.
- ✓ $N_p \equiv$ número de pasos de tubo.
- ✓ $L \equiv$ longitud de los tubos, m.
- ✓ $d_i \equiv$ diámetro interno de los tubos, m.
- ✓ $u_t \equiv$ velocidad del fluido que circula por los tubos, m/s.

- ✓ $\rho \equiv$ densidad del fluido que circula por los tubos, kg/m^3 .
- ✓ $j_H \equiv$ factor de fricción (se puede consultar en la Figura 5.6).

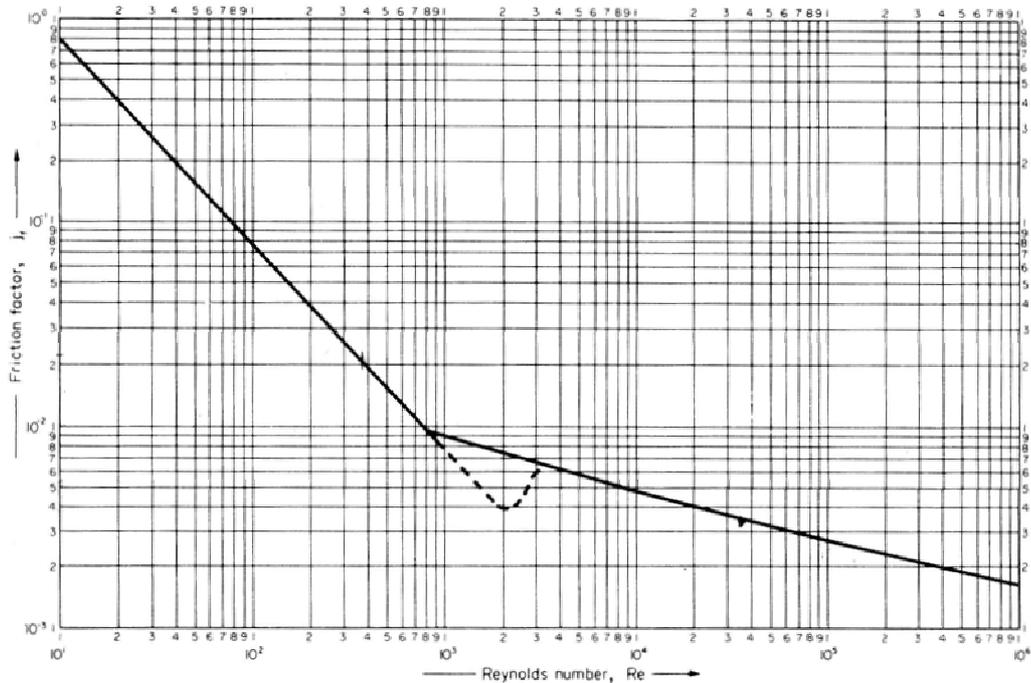


Figura 5.6. Factor de fricción del lado de tubos

5.1.2.6.2 Cálculo de la caída de presión del lado de la carcasa

Para el cálculo de la caída de presión del lado de la carcasa se usa la ecuación (5.25).

$$\Delta P_s = \left[8 \cdot j_f \cdot \left(\frac{D_s}{d_e} \right) \cdot \left(\frac{L}{l_B} \right) \right] \cdot \frac{\rho \cdot u_s^2}{2} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-0,14} \quad (5.25)$$

siendo:

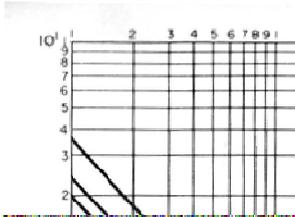
- ✓ $\Delta P_s \equiv$ caída de presión del lado de la carcasa, Pa .
- ✓ $D_s \equiv$ diámetro de la carcasa, m .
- ✓ $l_B \equiv$ espaciado entre los baffles, m .

✓ $d_e \equiv$ diámetro

✓ $L \equiv$ longitud

✓ $j_H \equiv$ factor de fricción

✓ $u_t \equiv$ velocidad crítica



Figura

5.2 Intercambiador de calor E-102

5.2.1 Introducción

El intercambiador de calor E-102 tiene como objetivo que la corriente de vapor de retorno al barco durante la operación de descarga no llegue a éste por encima de $-140\text{ }^{\circ}\text{C}$. Debido a que, en función de la composición del GNL, de la presión a la que se encuentra el BOG en la etapa de descarga (normalmente cerca del límite superior de presión admisible en los tanques para facilitar el trasiego de dicho vapor hacia el buque), se ha considerado para el diseño de este equipo una temperatura de entrada de $-110\text{ }^{\circ}\text{C}$. La temperatura de salida de vapor del E-102 nunca puede ser superior a $-140\text{ }^{\circ}\text{C}$. Como fluido refrigerante se usa una parte del GNL que está siendo descargado del buque hacia la terminal. La entrada estará a $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$, y la salida a unos $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Para esta operación se ha seleccionado un intercambiador de carcasa y tubos de doble paso. El vapor (BOG) circulará por la carcasa del cambiador, mientras que el fluido refrigerante (GNL) circulará por los tubos. En la Tabla 5.6 se presenta la composición estimada, en fracción molar, de las corrientes que circulan por el cambiador E-102.

Tabla 5.6. Composición en fracción molar de las corrientes del intercambiador E-102

	CARCASA	TUBOS
<i>Caudal (kmol/h)</i>	498	840,4 ⁴
<i>Peso molecular</i>	16,07	18,13
Metano	0,9981	0,89569
Etano	0,0001	0,06824
Propano	0	0,02383
n-Butano	0	0,00601

⁴ Para el cálculo del caudal que circula por tubos se ha usado la ecuación (5.1)

i-Butano	0	0,00405
n-Pentano	0	0,00004
i-Pentano	0	0,00015
Nitrógeno	0,0018	0,00199

En la Tabla 5.7 se presenta un resumen de las propiedades físicas de las corrientes que circulan por la carcasa y por los tubos evaluadas a la temperatura media calculada, así como los caudales másicos.

Tabla 5.7. Características de las corrientes del intercambiador E-102

	CARCASA	TUBOS
T_{entrada} (K)	163	113
T_{salida} (K)	133	123
T_m (K)	148	118
P (kPa)	126	500
ρ_m (kg/m ³)	1,996	454
μ_m (Pa s)	10^{-5}	$1,34 \cdot 10^{-4}$
k_m (W m ⁻¹ K ⁻¹)	0,012	0,187
C_{Pm} (kJ kg ⁻¹ K ⁻¹)	2,026	3,124
Caudal (kg/h)	7.984	15.234

Todas estas propiedades servirán para realizar los cálculos necesarios para diseñar el intercambiador de calor y especificar los distintos requerimientos para su funcionamiento.

5.2.2 Cálculo del calor intercambiado

Para el cálculo del calor intercambiado, se usará la ecuación (5.1) y se tomará como corriente de referencia la corriente de BOG (vapor) que se enfría.

Tabla 5.8. Cálculo del calor intercambiado

m_2 (kg/h)	7.984
T_{f2} (K)	133
T_{02} (K)	163
C_{P2} (kJ kg ⁻¹ K ⁻¹)	2,076
Q (kW)	133,3

Para poder calcular el caudal másico de GNL que se necesita para intercambiar esa cantidad de energía se usa la ecuación (5.1).

Tabla 5.9. Cálculo del caudal másico de GNL necesario

Q (kW)	133,3
T_{f1} (K)	123
T_{01} (K)	113
C_{P1} (kJ kg ⁻¹ K ⁻¹)	3,124
m_1 (kg/h)	15.234

5.2.3 Cálculo del valor de ΔT_{ml}

Para poder calcular ciertos parámetros, es necesario previamente el cálculo de la diferencia de temperaturas media logarítmica. Para esto se usa la ecuación (5.6). La ΔT_{ml} para el cambiador E-102 será la que se muestra en la Tabla 5.10.

Tabla 5.10. Obtención del valor de ΔT_{ml}

T_e (K)	163
T_s (K)	133
t_e (K)	113
t_s (K)	123
ΔT_{ml} (K)	28,85

Aplicando las ecuaciones (5.8) y (5.9), que permiten el cálculo de los parámetros R y S, se puede consultar en la Figura 5.1 el factor de corrección F, que permitirá calcular el valor de la diferencia de temperatura media logarítmica real del sistema con la ecuación (5.7). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5.11.

Tabla 5.11. Cálculo de $\Delta T_{ml \text{ real}}$

ΔT_{ml}	28,85
R	3
S	0,20
F	0,94
$\Delta T_{ml \text{ real}}$ (K)	27,12

5.2.4 Cálculo del área de transferencia

Para poder determinar el área de transferencia necesario para el cambiador de calor, es necesario conocer el valor del coeficiente global de transmisión de calor, definido en la ecuación (5.5), pero dicho valor aún no puede ser obtenido. Para realizar los cálculos será necesario suponer un valor del coeficiente integral, U , y realizar todos los cálculos, hasta poder calcular los coeficientes individuales de transmisión de calor, y a partir de ellos volver a calcular el valor del coeficiente global. Este procedimiento de tanteo se realizará tantas veces como sea necesario hasta que el valor del coeficiente integral supuesto coincida con el calculado. Como orientación, para el punto de partida se han usado los valores que se muestran en la Tabla 5.1.

Después de haber realizado los tanteos correspondientes, hasta obtener la convergencia del sistema, se usa como valor supuesto:

$$U = 59 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Con este valor del coeficiente global de transmisión supuesto, se calcula el área de transferencia necesaria usando la ecuación (5.4). Los parámetros necesarios para ese cálculo se muestran en la Tabla 5.12.

Tabla 5.12. Obtención del área de transferencia

$\Delta T_{ml \text{ real}}$	27,12
Q (kW)	133,3
U (W m ⁻² K ⁻¹)	59
A (m²)	83,32

5.2.5 Configuración del intercambiador

5.2.5.1 Tubos

La selección de los tubos para este intercambiador se llevará a cabo buscando una configuración que minimice, en la medida de lo posible, las caídas de presión en el equipo y que mantenga la velocidad del gas dentro de un rango aceptable.

En este caso, las características geométricas de los tubos seleccionados se muestran en la Tabla 5.13

Tabla 5.13. Características de los tubos para el intercambiador E-102

Diámetro nominal (in)	2
d_i (m)	0,0525
d_o (m)	0,0603
Espesor sch 40 (m)	0,0039
L (m)	4,88

Con los datos expuestos en la Tabla 5.13, el área externa de cada tubo resulta ser de:

$$A_t = 0,924 \text{ m}^2$$

Teniendo en cuenta este valor, se puede calcular el número de tubos necesarios para el intercambiador.

Tabla 5.14. Cálculo del número de tubos del intercambiador

A (m ²)	83,32
A _t (m ²)	0,924
N	92
Número de pasos por tubo	2
N_t	46

5.2.5.2 Carcasa

Para el dimensionamiento de la carcasa es necesario conocer el diámetro del haz de tubos, y para eso se usa la ecuación (5.12). Dicho diámetro del haz dependerá del número de tubos y del diámetro de los mismos, usándose también para el cálculo las constantes presentadas en la Tabla 5.4. En la Tabla 5.15 se presenta un resumen de los cálculos.

Tabla 5.15. Cálculo del diámetro del haz de tubos para el E-102

Tipo de pitch	Triangular
Coefficiente del pitch	1,25
P _t (m)	0,075
Número de pasos por tubo	2
Número de pasos por carcasa	1
K ₁	0,249
n ₁	2,207
D_b (m)	0,878

Para el cálculo del diámetro de la carcasa se ha usado la ecuación (5.13) a partir del diámetro, ya calculado anteriormente, del haz de tubos. Se calculará el espacio entre haz y carcasa con la ayuda de la Figura 5.3.

Tabla 5.16. Cálculo del diámetro de la carcasa

D_b (m)	0,878
D_{S-C} (m)	0,07
D_S (m)	0,948

5.2.5.3 Baffles

Para caracterizar las dimensiones y características de los baffles, se usan las ecuaciones (5.14) y (5.15). En la Tabla 5.17 se muestra el espaciado entre baffles, así como el número necesario de los mismos para el cambiador E-102.

Tabla 5.17. Cálculo de los baffles

D_S (m)	0,948
l_b (m)	0,19
N_B	25

5.2.6 Cálculo de los coeficientes individuales de calor en el lado de tubos

Para el cálculo de los coeficientes individuales de transmisión se usa la ecuación (5.16), así como los datos de las propiedades físicas de los fluidos que se muestran en la Tabla 5.6 y en la Tabla 5.7. Para el cálculo del número de Reynolds:

Tabla 5.18. Cálculo del número de Reynolds

ρ (kg/m ³)	454
d_i (m)	0,0525

μ (Pa s)	$1,34 \cdot 10^{-4}$
Re	16.647

A su vez, para el cálculo del número de Prandtl:

Tabla 5.19. Datos para el cálculo del módulo de Prandtl

C_p ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	3,124
k_f ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	0,187
μ (Pa s)	$1,34 \cdot 10^{-4}$
Pr	2,24

En la Tabla 5.20 se presenta los resultados del cálculo de los módulos adimensionales de Reynolds y Prandtl, así como el factor j_H consultado en la Figura 5.5.

Tabla 5.20. Datos para el cálculo del coeficiente individual de transmisión de calor

Re	16.647
Pr	2,24
j_H	0,004

Utilizando la ecuación (5.16) se obtiene un valor del coeficiente de:

$$h_i = 309,44 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

5.2.6.1 Coeficiente individual de transmisión de calor para el lado de la carcasa

Para calcular el coeficiente individual de transmisión de calor en el lado de la carcasa se ha usado la ecuación (5.23). Para poder aplicar este método primero hay que calcular el número de Reynolds y el Prandtl para con ellos calcular el Nusselt y, a partir de este conseguir el buscado coeficiente individual.

En la Tabla 5.21, se muestran los datos necesarios para el cálculo, así como los valores obtenidos para el Reynolds, el Prandtl y el Nusselt.

Tabla 5.21. Cálculos realizados para el número de Nusselt

ρ (kg/m ³)	1,996
d_e (m)	0,0428
C_p (kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹)	2,026
k_f (W m ⁻¹ K ⁻¹)	0,012
μ (Pa s)	10 ⁻⁵
Re	132.222
Pr	1,69
Nu	280,6

Mediante la ecuación (5.23) se obtiene el coeficiente individual de transmisión cuyo valor es:

$$h_o = 78,64 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

5.2.6.2 Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor

Hay que recordar que el valor del coeficiente global, U ; para los cálculos realizados hasta este punto, era un valor supuesto que ha servido de directriz para poder dimensionar adecuadamente el intercambiador. En este apartado se verifica el valor supuesto. Para esto, se aplica la ecuación (5.5) teniendo en cuenta los coeficientes de ensuciamiento (ver Tabla 5.2), así como la conductividad térmica del material.

Tabla 5.22. Cálculo del coeficiente global para el E-102

h_i (W m ⁻² K ⁻¹)	309,44
h_o (W m ⁻² K ⁻¹)	78,64
h_{id} (W m ⁻² K ⁻¹)	5000
h_{od} (W m ⁻² K ⁻¹)	5000

d_i (m)	0,0525
d_o (m)	0,0603
k_w ($W m^{-1} K^{-1}$)	45
U_0 ($W m^{-2} \cdot K^{-1}$)	58,99

5.2.7 Cálculo de la caída de presión

5.2.7.1 Caída de presión en el lado de los tubos

Para el cálculo de la caída de presión en el lado de los tubos se ha usado la ecuación (5.24). Además, será necesario calcular el valor del factor de fricción a partir de la Figura 5.6. En la Tabla 5.23 se muestran los valores necesarios para el cálculo de la caída de presión en el lado de los tubos, así como el valor de la misma.

Tabla 5.23. Caída de presión en el lado de tubos

Número de pasos	2
Re	16.647
j_f	0,0045
L (m)	4,88
d_i (m)	0,0525
ρ (kg/m^3)	454
ΔP (kPa)	10^{-2}

5.2.7.2 Caída de presión en el lado de la carcasa

El procedimiento de cálculo es análogo al de la caída de presión del lado de tubos usando la ecuación (5.25) y la Figura 5.7. Los resultados se muestran en la Tabla 5.24.

Tabla 5.24. Cálculo de la caída de presión para el lado de la carcasa

D_s (m)	0,948
Re	132.222
j_f	0,003
L (m)	4,88
l_B	0,19
d_e (m)	0,043
ρ (kg/m ³)	1,996
ΔP (kPa)	1,63

5.2.8 Resumen de valores obtenidos

A continuación se muestra una tabla resumen con las características más representativas del intercambiador, así como los datos de diseño.

Tabla 5.25. Resumen de características del cambiador E-102

Tipo de intercambiador	Carcasa y tubos con cabezal flotante
Número de pasos por tubo	2
Número de pasos por carcasa	1
Pitch (m)	0,075
Standard tubos	Sch 40
Número de tubos por paso	46
Longitud de los tubos (m)	4,88
Diámetro externo de los tubos (m)	0,0603
Diámetro interno de los tubos (m)	0,0525
U (W·m ⁻² ·K ⁻¹)	59
Caída de presión en tubos (kPa)	0,01
Caída de presión en carcasa (kPa)	1,63

5.3 Intercambiador de calor E-301

5.3.1 Introducción

El intercambiador de calor E-301 tiene como objetivo enfriar la corriente de BOG antes de entrar en los compresores K-301 A/B/C (previo paso por el separador V-301). Se ha considerado para el diseño de este intercambiador el caudal de vapor correspondiente al funcionamiento simultáneo de los tres compresores de vapor, esto es 12.939 kg/h de BOG. Se ha considerado una temperatura de la corriente de entrada de BOG al intercambiador de -90°C y una temperatura de salida de -140°C . La temperatura de entrada de -90°C se puede dar en casos de descarga de buque, donde el movimiento del líquido en el tanque puede dar lugar a cambios de presión (y por tanto de temperatura) del *boil-off gas*. Como fluido refrigerante se ha considerado gas natural licuado (GNL) procedente de la línea de impulsión de las bombas primarias, que entra en el intercambiador a -160°C y sale a -150°C . Se ha seleccionado un intercambiador de carcasa y tubos de doble paso. El vapor (BOG) circulará por la carcasa del cambiador, mientras que el fluido refrigerante (GNL) circulará por los tubos. En la Tabla 5.26 se presenta la composición estimada, en fracción molar, de las corrientes que circulan por el cambiador E-301.

Tabla 5.26. Composición en fracción molar de las corrientes del intercambiador E-301

	CARCASA	TUBOS
<i>Caudal (kmol/h)</i>	805,4	2243 ⁵
<i>Peso molecular</i>	16,07	18,13
Metano	0,9981	0,89569
Etano	0,0001	0,06824
Propano	0	0,02383
n-Butano	0	0,00601

⁵ Para el cálculo del caudal que circula por tubos se ha usado la ecuación (5.1)

i-Butano	0	0,00405
n-Pentano	0	0,00004
i-Pentano	0	0,00015
Nitrógeno	0,0018	0,00199

En la Tabla 5.27 se presenta un resumen de las propiedades físicas de las corrientes que circulan por la carcasa y por los tubos evaluadas a la temperatura media calculada, así como los caudales másicos.

Tabla 5.27. Características de las corrientes del intercambiador E-301

	CARCASA	TUBOS
T_{entrada} (K)	183	113
T_{salida} (K)	133	123
T_m (K)	158	118
P (kPa)	126	1000
ρ_m (kg/m ³)	1,996	454
μ_m (Pa s)	10^{-5}	$1,34 \cdot 10^{-4}$
k_m (W m ⁻¹ K ⁻¹)	0,012	0,187
C_{Pm} (kJ kg ⁻¹ K ⁻¹)	2,011	3,124
Caudal (kg/h)	12.939	40.656

Todas estas propiedades servirán para realizar los cálculos necesarios para diseñar el intercambiador de calor y especificar los distintos requerimientos para su funcionamiento.

5.3.2 Cálculo del calor intercambiado

Para el cálculo del calor intercambiado, se usará la ecuación (5.1) y se tomará como corriente de referencia la corriente de BOG (vapor) que se enfría.

Tabla 5.28. Cálculo del calor intercambiado

m_2 (kg/h)	12.939
T_{f2} (K)	133
T_{02} (K)	183
C_{P2} (kJ kg ⁻¹ K ⁻¹)	2,011
Q (kW)	361,4

Para poder calcular el caudal másico de GNL que se necesita para intercambiar esa cantidad de energía se usa la ecuación (5.1).

Tabla 5.29. Cálculo del caudal másico de GNL necesario

Q (kW)	361,4
T_{f1} (K)	123
T_{01} (K)	113
C_{P1} (kJ kg ⁻¹ K ⁻¹)	3,124
m_1 (kg/h)	40.656

5.3.3 Cálculo del valor de ΔT_{ml}

Para poder calcular ciertos parámetros, es necesario previamente el cálculo de la diferencia de temperaturas media logarítmica. Para esto se usa la ecuación (5.6). La ΔT_{ml} para el cambiador E-301 será la que se muestra en la Tabla 5.30.

Tabla 5.30. Obtención del valor de ΔT_{ml}

T_e (K)	183
T_s (K)	133
t_e (K)	113
t_s (K)	123
ΔT_{ml} (K)	36,41

Aplicando las ecuaciones (5.8) y (5.9), que permiten el cálculo de los parámetros R y S, se puede consultar en la Figura 5.1 el factor de corrección F, que permitirá calcular el valor de la diferencia de temperatura media logarítmica real del sistema con la ecuación (5.7). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5.31.

Tabla 5.31. Cálculo de $\Delta T_{ml \text{ real}}$

ΔT_{ml}	36,41
R	5
S	0,14
F	0,98
$\Delta T_{ml \text{ real}}$ (K)	35,68

5.3.4 Cálculo del área de transferencia

Para poder determinar el área de transferencia necesario para el cambiador de calor, es necesario conocer el valor del coeficiente global de transmisión de calor, definido en la ecuación (5.5), pero dicho valor aún no puede ser obtenido. Para realizar los cálculos será necesario suponer un valor del coeficiente integral, U , y realizar todos los cálculos, hasta poder calcular los coeficientes individuales de transmisión de calor, y a partir de ellos volver a calcular el valor del coeficiente global. Este procedimiento de tanteo se realizará tantas veces como sea necesario hasta que el valor del coeficiente integral supuesto coincida con el calculado. Como orientación, para el punto de partida se han usado los valores que se muestran en la Tabla 5.1.

Después de haber realizado los tanteos correspondientes, hasta obtener la convergencia del sistema, se usa como valor supuesto:

$$U = 79 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Con este valor del coeficiente global de transmisión supuesto, se calcula el área de transferencia necesaria usando la ecuación (5.4). Los parámetros necesarios para ese cálculo se muestran en la Tabla 5.32.

Tabla 5.32. Obtención del área de transferencia

$\Delta T_{ml \text{ real}}$	35,68
Q (kW)	361,4
U ($W \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-1}$)	79
A (m^2)	128,2

5.3.5 Configuración del intercambiador

5.3.5.1 Tubos

La selección de los tubos para este intercambiador se llevará a cabo buscando una configuración que minimice, en la medida de lo posible, las caídas de presión en el equipo y que mantenga la velocidad del gas dentro de un rango aceptable.

En este caso, las características geométricas de los tubos seleccionados se muestran en la Tabla 5.33

Tabla 5.33. Características de los tubos para el intercambiador E-301

Diámetro nominal (in)	1 ½
d_i (m)	0,0409
d_o (m)	0,0483
Espesor sch 40 (m)	0,0037
L (m)	4,88

Con los datos expuestos en la Tabla 5.33, el área externa de cada tubo resulta ser de:

$$A_t = 0,740 \text{ m}^2$$

Teniendo en cuenta este valor, se puede calcular el número de tubos necesarios para el intercambiador.

Tabla 5.34. Cálculo del número de tubos del intercambiador

A (m ²)	128,1
A _t (m ²)	0,740
N	174
Número de pasos por tubo	2
N_t	87

5.3.5.2 Carcasa

Para el dimensionamiento de la carcasa es necesario conocer el diámetro del haz de tubos, y para eso se usa la ecuación (5.12). Dicho diámetro del haz dependerá del número de tubos y del diámetro de los mismos, usándose también para el cálculo las constantes presentadas en la Tabla 5.4. En la Tabla 5.35 se presenta un resumen de los cálculos.

Tabla 5.35. Cálculo del diámetro del haz de tubos para el E-301

Tipo de pitch	Triangular
Coefficiente del pitch	1,25
P _t (m)	0,06
Número de pasos por tubo	2
Número de pasos por carcasa	1
K ₁	0,249
n ₁	2,207
D_b (m)	0,939

Para el cálculo del diámetro de la carcasa se ha usado la ecuación (5.13) a partir del diámetro, ya calculado anteriormente, del haz de tubos. Se calculará el espacio entre haz y carcasa con la ayuda de la Figura 5.3.

Tabla 5.36. Cálculo del diámetro de la carcasa

D_b (m)	0,939
D_{S-C} (m)	0,072
D_S (m)	1,011

5.3.5.3 Baffles

Para caracterizar las dimensiones y características de los baffles, se usan las ecuaciones (5.14) y (5.15). En la Tabla 5.37 se muestra el espaciado entre baffles, así como el número necesario de los mismos para el cambiador E-301.

Tabla 5.37. Cálculo de los baffles

D_S (m)	1,011
l_b (m)	0,20
N_B	24

5.3.6 Cálculo de los coeficientes individuales de calor en el lado de tubos

Para el cálculo de los coeficientes individuales de transmisión se usa la ecuación (5.16), así como los datos de las propiedades físicas de los fluidos que se muestran en la Tabla 5.6 y en la Tabla 5.7. Para el cálculo del número de Reynolds:

Tabla 5.38. Cálculo del número de Reynolds

ρ (kg/m ³)	454
d_i (m)	0,041

μ (Pa s)	$1,34 \cdot 10^{-4}$
Re	18.300

A su vez, para el cálculo del número de Prandtl:

Tabla 5.39. Datos para el cálculo del módulo de Prandtl

C_p (kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹)	3,124
k_f (W m ⁻¹ K ⁻¹)	0,187
μ (Pa s)	$1,34 \cdot 10^{-4}$
Pr	2,24

En la Tabla 5.40 se presenta los resultados del cálculo de los módulos adimensionales de Reynolds y Prandtl, así como el factor j_H consultado en la Figura 5.5.

Tabla 5.40. Datos para el cálculo del coeficiente individual de transmisión de calor

Re	18.300
Pr	2,24
j_H	0,004

Utilizando la ecuación (5.16) se obtiene un valor del coeficiente de:

$$h_i = 436,66 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

5.3.6.1 Coeficiente individual de transmisión de calor para el lado de la carcasa

Para calcular el coeficiente individual de transmisión de calor en el lado de la carcasa se ha usado la ecuación (5.23). Para poder aplicar este método primero hay que calcular el número de Reynolds y el Prandtl para con ellos calcular el Nusselt y, a partir de este conseguir el buscado coeficiente individual.

En la Tabla 5.41, se muestran los datos necesarios para el cálculo, así como los valores obtenidos para el Reynolds, el Prandtl y el Nusselt.

Tabla 5.41. Cálculos realizados para el número de Nusselt

ρ (kg/m ³)	1,879
d_e (m)	0,0343
C_p (kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹)	2,011
k_f (W m ⁻¹ K ⁻¹)	0,012
μ (Pa s)	10 ⁻⁵
Re	150.701
Pr	1,68
Nu	300,8

Mediante la ecuación (5.23) se obtiene el coeficiente individual de transmisión cuyo valor es:

$$h_o = 105,25 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

5.3.6.2 Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor

Hay que recordar que el valor del coeficiente global, U ; para los cálculos realizados hasta este punto, era un valor supuesto que ha servido de directriz para poder dimensionar adecuadamente el intercambiador. En este apartado se verifica el valor supuesto. Para esto, se aplica la ecuación (5.5) teniendo en cuenta los coeficientes de ensuciamiento (ver Tabla 5.2), así como la conductividad térmica del material.

Tabla 5.42. Cálculo del coeficiente global para el E-301

h_i (W m ⁻² K ⁻¹)	436,66
h_o (W m ⁻² K ⁻¹)	105,25
h_{id} (W m ⁻² K ⁻¹)	5000
h_{od} (W m ⁻² K ⁻¹)	5000

d_i (m)	0,041
d_o (m)	0,0483
k_w ($W\ m^{-1}\ K^{-1}$)	45
U_0 ($W\ m^{-2}\cdot K^{-1}$)	78,54

5.3.7 Cálculo de la caída de presión

5.3.7.1 Caída de presión en el lado de los tubos

Para el cálculo de la caída de presión en el lado de los tubos se ha usado la ecuación (5.24). Además, será necesario calcular el valor del factor de fricción a partir de la Figura 5.6. En la Tabla 5.43 se muestran los valores necesarios para el cálculo de la caída de presión en el lado de los tubos, así como el valor de la misma.

Tabla 5.43. Caída de presión en el lado de tubos

Número de pasos	2
Re	18.300
j_f	0,004
L (m)	4,88
d_i (m)	0,0525
ρ (kg/m^3)	454
ΔP (kPa)	0,019

5.3.7.2 Caída de presión en el lado de la carcasa

El procedimiento de cálculo es análogo al de la caída de presión del lado de tubos usando la ecuación (5.25) y la Figura 5.7. Los resultados se muestran en la Tabla 5.44.

Tabla 5.44. Cálculo de la caída de presión para el lado de la carcasa

D_s (m)	1,011
Re	150.701
j_f	0,003
L (m)	4,88
l_B	0,19
d_e (m)	0,0343
ρ (kg/m ³)	1,996
ΔP (kPa)	4,4

5.3.8 Resumen de valores obtenidos

A continuación se muestra una tabla resumen con las características más representativas del intercambiador, así como los datos de diseño.

Tabla 5.45. Resumen de características del cambiador E-301

Tipo de intercambiador	Carcasa y tubos con cabezal flotante
Número de pasos por tubo	2
Número de pasos por carcasa	1
Pitch (m)	0,075
Standard tubos	Sch 40
Número de tubos por paso	87
Longitud de los tubos (m)	4,88
Diámetro externo de los tubos (m)	0,0483
Diámetro interno de los tubos (m)	0,0409
U (W·m ⁻² ·K ⁻¹)	79
Caída de presión en tubos (kPa)	0,019
Caída de presión en carcasa (kPa)	4,4

6 VAPORIZADORES DE AGUA DE MAR

6.1 Desarrollo teórico

6.1.1 Introducción

Dentro de la industria de regasificación de gas natural existen distintos tipos de vaporizadores donde se lleva a cabo el cambio de fase de líquido a vapor para su posterior emisión a gaseoducto (la forma más habitual y la que nos concierne en este proyecto).

Brevemente, los distintos tipos de vaporizadores más comunes son:

- ✓ **Vaporizadores de agua de mar (Open Rack Vaporizers).** Son los más extendidos. Consisten en una serie de paneles de tubos en forma de estrella (normalmente de aluminio) en donde, por dentro de los tubos circula el GNL y por fuera de los tubos en contracorriente desciende agua de mar como fluido calefactor.
- ✓ **Vaporizadores de combustión sumergida (Submerged Combustion Vaporizers).** En este tipo de vaporizadores, el GNL se hace circular por una especie de serpentín sumergido en un baño de agua calentado por quemadores de gas.
- ✓ **Vaporizadores de aire ambiente.** Son poco utilizados debido a su gran tamaño. Consiste en un sistema de tubos por donde fluye el GNL que intercambia energía con aire en convección natural o forzada (más habitual) que circula por el exterior.
- ✓ **Vaporizadores de carcasa y tubos.** En este tipo de vaporizadores, el fluido calefactor suele ser glicol, que viene precalentado mediante alguna corriente residual procedente de

algún otro tipo de instalación o industria próxima. Su uso es muy escaso y cada día menor.

6.1.2 Diseño de los ORV (Open Rack Vaporizers)

Dentro de los vaporizadores de agua de mar existen distintas configuraciones de tubos. En este caso se ha elegido una configuración de doble tubo vertical en forma de estrella, en donde, por el tubo interno circula el GNL de forma descendente, por el espacio intermedio entre el tubo interior y el exterior asciende el gas natural ya vaporizado, y por la parte más exterior de la configuración circula agua de mar que rebose desde unos canales situados en la parte superior de la estructura, formando una película de agua continua que recubre el panel formado con los tubos. Aunque no es la configuración más habitual de este tipo de equipos, se consigue una eficacia del equipo mayor que con la configuración tradicional. En la Figura 6.1 se muestra la configuración de un tubo.

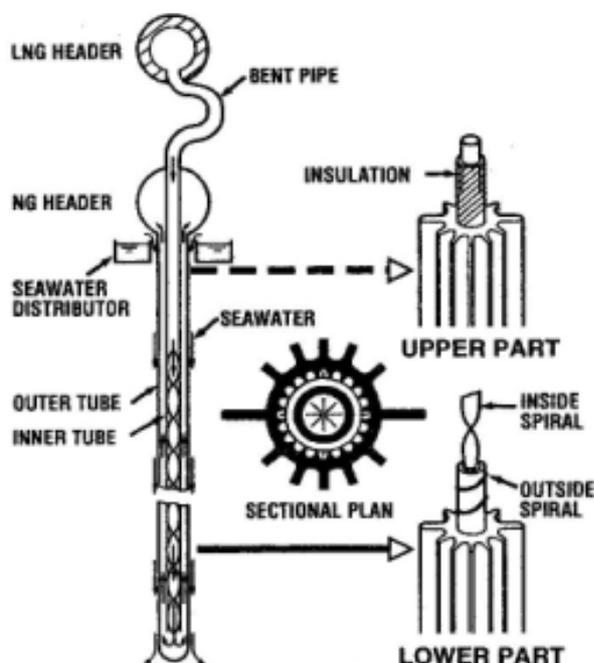


Figura 6.1. Configuración de un tubo del vaporizador

6.1.3 Obtención del calor intercambiado

En el intercambio de calor sensible entre dos corrientes de proceso se cumple que:

$$Q_s = m_1 \cdot C_{P1} \cdot (T_{f1} - T_{01}) = m_2 \cdot C_{P2} \cdot (T_{02} - T_{f2}) \quad (6.1)$$

donde:

- ✓ $Q_s \equiv$ calor sensible intercambiado entre las corrientes 1 y 2, W .
- ✓ $m_1 \equiv$ caudal másico de la corriente 1, kg/s .
- ✓ $T_{01} \equiv$ temperatura inicial de la corriente 1, K .
- ✓ $T_{f1} \equiv$ temperatura final de la corriente 1, K .
- ✓ $C_{P1} \equiv$ calor específico de la corriente 1, $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$.
- ✓ $m_2 \equiv$ caudal másico de la corriente 2, kg/s .
- ✓ $T_{02} \equiv$ temperatura inicial de la corriente 2, K .
- ✓ $T_{f2} \equiv$ temperatura final de la corriente 2, K .
- ✓ $C_{P2} \equiv$ calor específico de la corriente 2, $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$.

En este caso existe vaporización en el sistema y al término de calor sensible habrá que sumarle el término correspondiente al calor absorbido mediante este mecanismo, de forma que:

$$Q_l = m \cdot \lambda \quad (6.2)$$

siendo:

- ✓ $Q_l \equiv$ calor cedido o absorbido por el sistema, W .
- ✓ $m \equiv$ caudal másico de la corriente evaporada o condensada, kg/s .
- ✓ $\lambda \equiv$ calor latente de vaporización de la corriente, J/kg .

De esta forma, el calor total (W) intercambiado se calcula mediante la ecuación (6.3).

$$Q_T = Q_s + Q_l \quad (6.3)$$

6.1.3.1 Ecuación de diseño para el intercambio de calor

La ecuación general para la transmisión de calor a través de una superficie se corresponde con:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_m \quad (6.4)$$

siendo:

- ✓ $Q \equiv$ calor transferido por unidad de tiempo, W .
- ✓ $U \equiv$ coeficiente global de transmisión de calor, $W \cdot m^{-2} K^{-1}$.
- ✓ $A \equiv$ área de intercambio de calor, m^2 .
- ✓ $\Delta T_m \equiv$ diferencia media de temperatura, K .

El principal objetivo en el diseño de un vaporizador, al igual que en un cambiador de calor (ya que, en esencia no deja de ser un intercambiador de calor) es determinar la superficie de intercambio necesaria para y llevar a cabo el cambio de fase deseado en las condiciones óptimas de operación.

El coeficiente global de transmisión de calor es la inversa de la resistencia global a la transmisión, que es la suma de la serie de resistencias individuales. En general, para el intercambio de calor en un tubo:

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{h_0} + \frac{d_0 \cdot \ln(d_0/d_i)}{2 \cdot k_w} + \frac{d_0}{d_i} \cdot \frac{1}{h_i} \quad (6.5)$$

siendo:

- ✓ $U_0 \equiv$ coeficiente integral de transmisión de calor, $W \cdot m^{-2} K^{-1}$.
- ✓ $h_i \equiv$ coeficiente de convección en el interior del tubo, $W \cdot m^{-2} K^{-1}$.
- ✓ $h_e \equiv$ coeficiente de convección en el lado exterior del tubo, $W \cdot m^{-2} K^{-1}$.
- ✓ $k_w \equiv$ conductividad térmica del material, $W \cdot m^{-1} K^{-1}$.
- ✓ $d_o \equiv$ diámetro externo del tubo, m .
- ✓ $d_i \equiv$ diámetro interno del tubo, m .

Para el caso de un doble tubo, como el que se tiene, el coeficiente integral se puede referir al área del tubo interno o a la del tubo externo. Se van a definir dos coeficientes integrales para poder resolver el diseño del vaporizador.

$$\frac{1}{U_A} = \frac{1}{h_a} + \frac{d_{oe} \cdot \ln(d_{oe}/d_{oi})}{2 \cdot k_w} + \frac{d_{oe}}{d_{oi}} \cdot \frac{1}{h_{gn}} \quad (6.6)$$

siendo:

- ✓ $U_A \equiv$ c.i. de transmisión de calor referido al tubo externo, $W \cdot m^{-2} K^{-1}$.
- ✓ $h_a \equiv$ coeficiente de convección en el exterior del tubo externo, $W \cdot m^{-2} K^{-1}$.
- ✓ $h_{gn} \equiv$ coeficiente de convección en el exterior del tubo interno, $W \cdot m^{-2} K^{-1}$.
- ✓ $k_w \equiv$ conductividad térmica del material, $W \cdot m^{-1} K^{-1}$.
- ✓ $d_{oe} \equiv$ diámetro externo del tubo externo, m .
- ✓ $d_{oi} \equiv$ diámetro externo del tubo interno, m .

$$\frac{1}{U_B} = \frac{1}{h_{gnl}} + \frac{d_{ii} \cdot \ln(d_{ie}/d_{ii})}{2 \cdot k_w} + \frac{d_{ii}}{d_{ie}} \cdot \frac{1}{h_{gn}} \quad (6.7)$$

siendo:

- ✓ $U_B \equiv$ c.i. de transmisión de calor referido al tubo interno, $W \cdot m^{-2} K^{-1}$.
- ✓ $h_{gnl} \equiv$ coeficiente de convección en el interior del tubo interno, $W \cdot m^{-2} K^{-1}$.
- ✓ $h_{gn} \equiv$ coeficiente de convección en el exterior del tubo interno, $W \cdot m^{-2} K^{-1}$.
- ✓ $k_w \equiv$ conductividad térmica del material, $W \cdot m^{-1} K^{-1}$.
- ✓ $d_{ii} \equiv$ diámetro interno del tubo interno, m .
- ✓ $d_{ie} \equiv$ diámetro interno del tubo externo, m .

6.1.3.2 Cálculo de la ΔT_{ml}

Para poder calcular el área de transferencia mediante la ecuación (6.4) es necesario conocer el valor de la diferencia de temperaturas media logarítmica. Ésta se calcula como la media logarítmica de las diferencias de temperatura entre los extremos del intercambiador. Para un intercambiador en contracorriente se define como:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_e - t_s) - (T_s - t_e)}{\ln\left(\frac{T_e - t_s}{T_s - t_e}\right)} \quad (6.8)$$

siendo:

- ✓ $\Delta T_{ml} \equiv$ diferencia de temperaturas media logarítmica, K .
- ✓ $T_e \equiv$ temperatura de entrada del fluido que circula por el exterior, K .
- ✓ $T_s \equiv$ temperatura de salida del fluido que circula por el exterior, K .
- ✓ $t_e \equiv$ temperatura de entrada del fluido que circula por el interior, K .
- ✓ $t_s \equiv$ temperatura de salida del fluido que circula por el interior, K .

6.1.4 Perfil de temperaturas

Para poder determinar el perfil de temperaturas de cada una de las corrientes dentro del vaporizador, es necesario plantear el balance microscópico de energía. En la Figura 6.2 se muestra un esquema de las consideraciones tomadas.

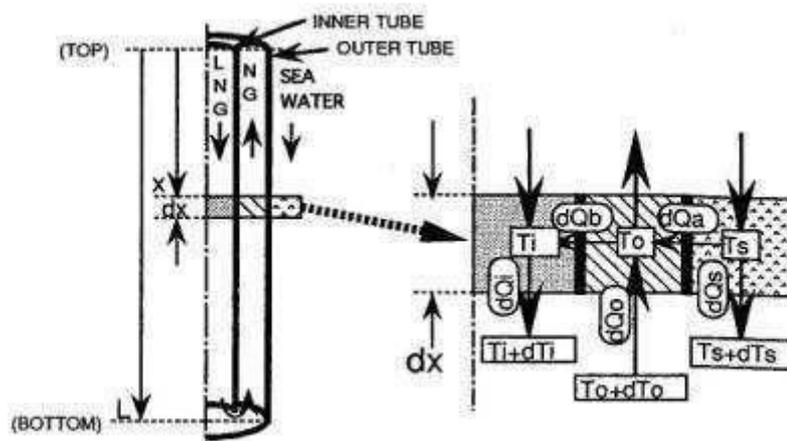


Figura 6.2. Consideraciones realizadas para el balance microscópico

6.1.4.1 Tubo externo; Agua de mar

La variación de temperatura en esta zona se modela mediante la ecuación (6.9).

$$\frac{dT_S}{dx} = - \frac{\pi \cdot U_A \cdot d_{oe}}{C_{p,S} \cdot m_S} \cdot (T_S - T_o) \quad (6.9)$$

donde:

- ✓ $U_A \equiv$ c.i. de transmisión de calor referido al tubo externo, $W \cdot m^{-2} K^{-1}$.
- ✓ $T_S \equiv$ Temperatura del agua de mar, K .
- ✓ $C_{p,S} \equiv$ calor específico del agua de mar, $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$.
- ✓ $m_S \equiv$ Caudal másico del agua de mar, kg/s
- ✓ $d_{oe} \equiv$ diámetro externo del tubo externo, m .
- ✓ $T_o \equiv$ Temperatura del gas natural, K .

6.1.4.2 Espacio entre tubos; Gas natural

La variación de temperatura en esta zona se modela mediante la ecuación (6.10).

$$\frac{dT_o}{dx} = -\frac{\pi \cdot U_A \cdot d_{oe}}{C_{p,o} \cdot m_o} \cdot \left[T_S - T_o - \left(\frac{U_B \cdot d_{ii} \cdot (T_o - T_i)}{U_A \cdot d_{ii}} \right) \right] \quad (6.10)$$

siendo:

- ✓ $U_A \equiv$ c.i. de transmisión de calor referido al tubo externo, $W \cdot m^{-2} K^{-1}$.
- ✓ $U_B \equiv$ c.i. de transmisión de calor referido al tubo interno, $W \cdot m^{-2} K^{-1}$.
- ✓ $T_o \equiv$ Temperatura del gas natural, K .
- ✓ $T_i \equiv$ Temperatura del gas natural licuado, K .
- ✓ $C_{p,o} \equiv$ calor específico del gas natural, $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$.
- ✓ $m_o \equiv$ Caudal másico del gas natural, kg/s
- ✓ $d_{oe} \equiv$ diámetro externo del tubo externo, m .
- ✓ $d_{ii} \equiv$ diámetro interno del tubo interno, m .

6.1.4.3 Tubo interno; Gas natural licuado

La variación de temperatura en esta zona se modela mediante la ecuación (6.11).

$$\frac{dT_i}{dx} = \frac{\pi \cdot U_B \cdot d_{ii}}{C_{p,i} \cdot m_i} \cdot (T_o - T_i) \quad (6.11)$$

donde:

- ✓ $U_B \equiv$ c.i. de transmisión de calor referido al tubo interno, $W \cdot m^{-2} K^{-1}$.
- ✓ $T_i \equiv$ Temperatura del gas natural licuado, K .
- ✓ $C_{p,i} \equiv$ calor específico del gas natural licuado, $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$.
- ✓ $m_i \equiv$ Caudal másico del gas natural licuado, kg/s
- ✓ $d_{ij} \equiv$ diámetro interno del tubo interno, m .
- ✓ $T_i \equiv$ Temperatura del gas natural licuado, K .

6.1.4.4 Estimación de los coeficientes individuales

El gran problema para el cálculo de este tipo de equipos es conseguir correlaciones que permitan el cálculo de los coeficientes individuales de transmisión de calor para cada una de las corrientes. Se han elegido las ecuaciones que se relacionan en este apartado por la proximidad de las condiciones en las que han sido descritas con las que nos concierne en el diseño de este equipo.

6.1.4.4.1 Coeficiente de convección para el exterior del tubo externo

En este caso es agua de mar lo que fluye formando una película de líquido. Para el cálculo de coeficientes de convección para películas de líquido que caen por el exterior se emplea la ecuación (6.12)

$$h_{lm} = 9150 \cdot \Gamma^{1/3} \tag{6.12}$$

$$\Gamma = \frac{m_s}{\pi \cdot d_{oe}}$$

donde:

- ✓ $h_{lm} \equiv$ Coeficiente de convección para el agua de mar, $W \cdot m^{-2} K^{-1}$.

✓ $d_{oe} \equiv$ Diámetro externo del tubo externo, m .

✓ $m_s \equiv$ Caudal másico del agua de mar, kg/s

6.1.4.4.2 Coeficiente de convección para el interior del tubo externo

Para el cálculo del coeficiente de convección para el exterior del tubo interno se usa la ecuación (6.13)

$$h = 0,023 \cdot C_p \cdot m \cdot Re^{-0,2} \cdot Pr^{-2/3} \quad (6.13)$$

donde:

✓ $h \equiv$ Coeficiente de convección, $W \cdot m^{-2} K^{-1}$.

✓ $Re \equiv$ Número de Reynolds

✓ $Pr \equiv$ Número de Prandtl

✓ $m \equiv$ Caudal másico del fluido, kg/s .

6.1.4.4.3 Coeficiente de convección para el interior del tubo interno

Para el cálculo del coeficiente de convección para el exterior del tubo interno se usa la ecuación (6.14), a partir de la cual se obtiene el módulo de Nusselt y de él el coeficiente de convección.

$$Nu = \left\{ \frac{f}{2} \cdot (Re - 1000) \cdot Pr \right\} \cdot \left\{ 1 + 12,7 \cdot \sqrt{\frac{f}{2} \cdot (Pr^{2/3} - 1)} \right\} \quad (6.14)$$

$$f = (3,64 \cdot \log_{10}(Re) - 3,28)^{-2}$$

donde:

- ✓ $Nu \equiv$ Módulo de Nusselt
- ✓ $Re \equiv$ Número de Reynolds
- ✓ $Pr \equiv$ Número de Prandtl

6.2 Vaporizadores de agua de mar E-410 y E-420

6.2.1 Introducción

Los vaporizadores de agua de mar E-410 y E-420 son dos equipos iguales cuyo cometido es la vaporización del GNL. A ellos llega el GNL a aproximadamente -156°C y sale como vapor a 3°C . Por otro lado, se aporta agua de mar que cae formando una película por la parte exterior de los tubos. Esta agua llega al equipo a 15°C y sale después de la vaporización a 9°C . Estos equipos se diseñan para que la ΔT del agua de mar no exceda los 6°C . Son equipos cuyos tubos están realizados en aluminio con una capa que minimiza la corrosión a la que son sometidos debido al contacto del agua de mar. Cada uno de estos vaporizadores es capaz de regasificar 150.000 kg/h de GNL. En la Tabla 6.1 se muestran el caudal y la composición de la corriente de GNL.

Tabla 6.1. Características de la corriente de GNL

	Gas Natural
<i>Caudal (kg/h)</i>	<i>150.000</i>
<i>Caudal (kmol/h)</i>	<i>8274</i>
<i>Peso molecular</i>	<i>18,13</i>
Metano	0,89569
Etano	0,06824
Propano	0,02383
n-Butano	0,00601
i-Butano	0,00405

n-Pentano	0,00004
i-Pentano	0,00015
Nitrógeno	0,00199

Para calcular la cantidad de agua de mar que es necesaria para cumplir con las condiciones impuestas para este equipo, se usan las ecuaciones (6.1) y (6.2). En primer lugar se calcula el calor sensible mediante la ecuación (6.1) y el calor latente absorbido mediante la ecuación (6.2). En la Tabla 6.2 se muestran los valores más significativos, así como la cantidad de agua de mar calculada.

Tabla 6.2. Valores significativos de cada corriente

	Gas natural	Agua de mar
Caudal (kg/h)	150.000	5.490.194
Presión (bar)	85	2
T _{entrada} (°C)	-156	15
T _{salida} (°C)	3	9
λ (kJ/kg)	400	
C _P (kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹)	2 _(gas) ; 3,6 _(líquido)	4,69
ρ (kg/m ³)	1,879 _(gas) ; 454 _(líquido)	1025
k (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	0,04 _(gas) ; 0,19 _(líquido)	0,58

La forma en la que se ha considerado el flujo es la siguiente. El GNL entra por la parte de arriba descendiendo por el tubo interior. Se considera que la vaporización del GNL comienza próxima a la zona inferior del tubo. Desde esta parte inferior, asciende por el espacio entre los tubos el gas natural. Se considera que la vaporización se lleva a cabo de tal forma que en la parte inferior de los tubos existe una cantidad de líquido que funciona a la vez como sello hidráulico en la tubería. En lo que se refiere al agua de mar, esta entra por la parte de arriba al equipo y desde unos canales abiertos rebosa formando

una capa continua por encima de los tubos. Todos los tubos están unidos formando paneles.

Se ha considerado que cada uno de los dos vaporizadores de agua de mar, el E-410 y el E-420, están formados por 8 paneles de 86 tubos en cada panel, lo que da lugar a 688 tubos. Cada panel mide 6 metros de longitud vertical. Estos datos son la configuración habitual de un equipo de estas características.

6.2.2 Procedimiento de diseño

Para poder conocer cuáles son los diámetros óptimos de los tubos para llevar a cabo el intercambio de calor necesario para la vaporización, se procederá de la siguiente forma:

- I. Se calculan las ΔT_{mi} para los tramos tubo externo-tubo “intermedio”, y tubo “intermedio”-tubo interno mediante la ecuación (6.8).
- II. Se suponen unos valores del coeficiente integral de transmisión de calor para poder resolver inicialmente. $U_A=100 \text{ W/m}^2 \cdot K$ y $U_B=1.000 \text{ W/m}^2 \cdot K$.
- III. Mediante la ecuación (6.4) se calculan las áreas interna y externa a las que están referidas los coeficientes globales U_A y U_B (ver ecuaciones (6.6) y (6.7)).
- IV. Con estos valores del área interna y externa se consigue estimar unos valores del diámetro interno del tubo interno y externo del tubo externo.
- V. Suponiendo los espesores de los tubos se calculan los diámetros externos del tubo interno e interno del tubo externo.
- VI. Resolviendo simultáneamente el sistema de ecuaciones diferenciales formado por las ecuaciones (6.9), (6.10) y (6.11)

junto con los valores de los coeficientes globales y los diámetros calculados, se obtiene el perfil de temperaturas para cada una de las corrientes.

- VII. Iterando sucesivamente hasta conseguir los perfiles deseados, se llega a una configuración admisible de los diámetros de tubo.

Utilizando Matlab para realizar las iteraciones y la resolución numérica del sistema de ecuaciones diferenciales, se llega al perfil de temperaturas mostrado en la Figura 6.3.

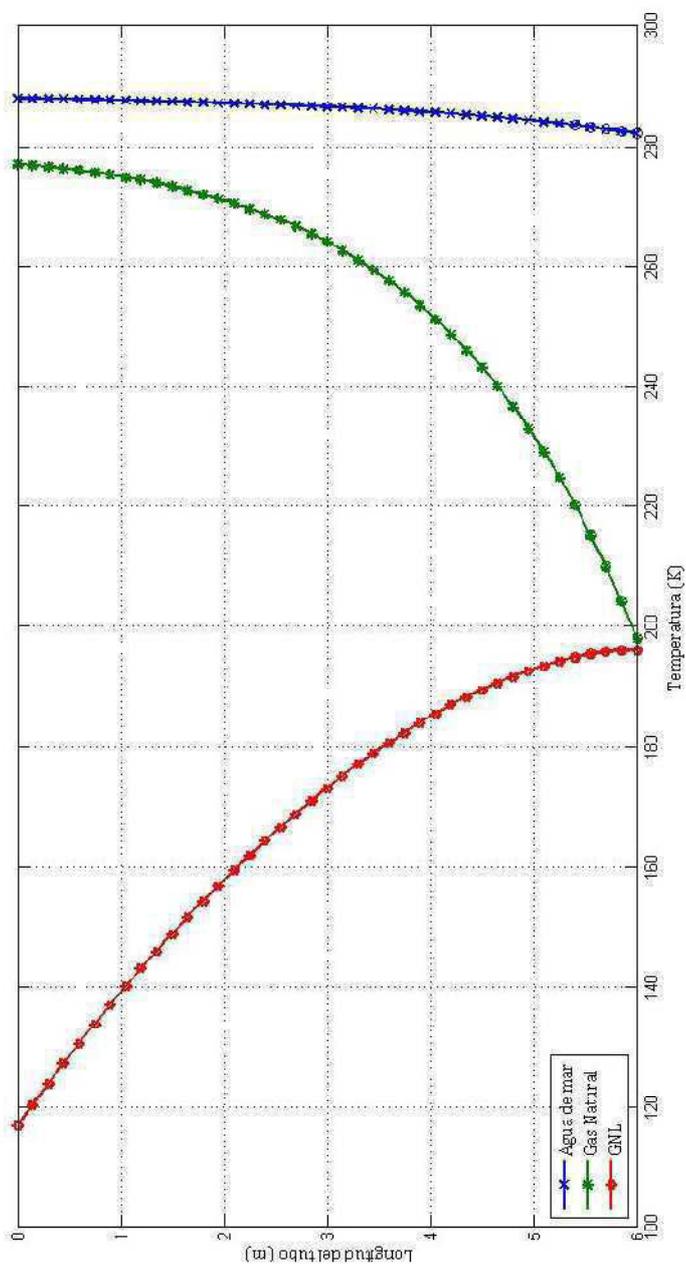


Figura 6.3. Perfil de temperaturas para cada corriente

Los valores de diámetros que se corresponden con la configuración de tubo que da lugar a estos perfiles de temperaturas son los siguientes:

- ✓ Diámetro interno del tubo interno $\equiv d_{ii} = 0,051 \text{ m}$
- ✓ Diámetro externo del tubo externo $\equiv d_{oe} = 0,098 \text{ m}$
- ✓ Diámetro externo del tubo interno $\equiv d_{ji} = 0,059 \text{ m}$
- ✓ Diámetro interno del tubo externo $\equiv d_{ji} = 0,088 \text{ m}$

Los espesores de los tubos utilizados son de 0,008 m para el tubo interno, y para el externo de 0,010 m.

En la Tabla 6.3 se muestran los valores obtenidos para el cálculo analítico de los coeficientes de convección para cada una de las secciones de intercambio de calor, utilizando las ecuaciones descritas en la sección 6.1.4.4 de este anexo de cálculos justificativos del proyecto. A priori los datos del número de Reynolds, Nusselt, velocidades de fluidos son admisibles, pero los valores de los coeficientes de convección individual se escapan del rango a priori esperable. Esto es debido fundamentalmente a que estas correlaciones no se ajustan como debiesen para las condiciones de flujo y para el comportamiento del gas natural durante su vaporización. Es importante comentar que se trabaja a presiones y temperaturas extremas, en ocasiones cerca del punto crítico del fluido, por lo que los cálculos analíticos de dichos coeficientes no son para nada fiables en este equipo.

Tabla 6.3. Valores calculados teóricamente

$Re_{GN} = 52.450$	$v_{GN} = 9,04 \text{ m/s}$
$h_{GN} = 0,22 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$	$Re_{GNL} = 12.473$
$NU_{GNL} = 137$	$h_{GNL} = 487 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$

En definitiva, los parámetros de diseño calculados mediante el método de tanteo descrito anteriormente, y mediante la resolución de los balances microscópicos mediante métodos numéricos si dan unos parámetros de diseño del equipo aceptables. Las características y dimensiones del equipo se muestran en la Tabla 6.4.

Tabla 6.4. Dimensiones principales de los ORV's

DIMENSIONES VAPORIZADOES E-410 Y E-420	
Número de paneles	8
Número de tubos/panel	86
Dimensiones del panel (Largo/Ancho/Alto)	2,58 ⁶ m/0,01 m/6 m
Diámetro interno del tubo interno	0,051 m
Diámetro interno del tubo externo	0,098 m
Espesor tubo interno	0,008 m
Espesor tubo externo	0,01m

7 RELICUADOR DE BOIL-OFF GAS

7.1 Desarrollo teórico

7.1.1 Introducción

En este apartado del proyecto se describe el equipo utilizado para recuperar el vapor de *boil-off* que se forma principalmente en los tanques de almacenamiento de gas natural licuado.

El principio de funcionamiento de este equipo consiste en poner en contacto el vapor presurizado (previo paso por una etapa de compresión) con GNL líquido y mucho más frío que la corriente gaseosa para que dicho vapor condense y, de este modo, poder reutilizarlo. La parte inferior del equipo sirve como pulmón para la etapa de bombeo posterior.

El relicuador, en la zona de condensación, consta de un cilindro relleno de anillos Rasching de acero inoxidable, que forma un anillo con la parte

⁶ Se ha considerado una separación entre tubos de 0,02 m, que están formados por una lámina del mismo material (aluminio) que los tubos.

exterior del relicuador. El gas de *boil-off* y el GNL se alimentan al relicuador por la parte superior del equipo, de tal forma que el GNL entra más alto que el vapor. Así, el vapor se inyecta directamente en la zona de anillos, mientras que el líquido se introduce en contracorriente con el vapor por la parte superior de dicha zona. Como ya se dijo, la parte inferior del equipo consiste en un tanque de almacenamiento para el GNL y el *boil-off* recondensado que en la siguiente etapa será bombeado.

7.2 Método de diseño

7.2.1 Cantidad de calor intercambiado

En el intercambio de calor sensible entre las dos corrientes de proceso se cumple que:

$$Q_s = m_1 \cdot C_{P1} \cdot (T_{f1} - T_{01}) = m_2 \cdot C_{P2} \cdot (T_{02} - T_{f2}) \quad (7.1)$$

donde:

- ✓ $Q_s \equiv$ calor sensible intercambiado entre las corrientes 1 y 2, W .
- ✓ $m_1 \equiv$ caudal másico de la corriente 1, kg/s .
- ✓ $T_{01} \equiv$ temperatura inicial de la corriente 1, K .
- ✓ $T_{f1} \equiv$ temperatura final de la corriente 1, K .
- ✓ $C_{P1} \equiv$ calor específico de la corriente 1, $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$.
- ✓ $m_2 \equiv$ caudal másico de la corriente 2, kg/s .
- ✓ $T_{02} \equiv$ temperatura inicial de la corriente 2, K .
- ✓ $T_{f2} \equiv$ temperatura final de la corriente 2, K .
- ✓ $C_{P2} \equiv$ calor específico de la corriente 2, $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$.

En este caso existe condensación en el sistema y al término de calor sensible habrá que sumarle el término correspondiente al calor cedido mediante este mecanismo, de forma que:

$$Q_l = m \cdot \lambda \quad (7.2)$$

siendo:

- ✓ $Q_l \equiv$ calor cedido por el sistema, W .
- ✓ $m \equiv$ caudal másico de la corriente condensada, kg/s .
- ✓ $\lambda \equiv$ calor latente de vaporización de la corriente, J/kg .

De esta forma, el calor total (W) intercambiado se calcula mediante la ecuación (7.3).

$$Q_T = Q_s + Q_l \quad (7.3)$$

7.2.1.1 Ecuación de diseño para el intercambio de calor

La ecuación general para la transmisión de calor a través de una superficie se corresponde con:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_m \quad (7.4)$$

siendo:

- ✓ $Q \equiv$ calor transferido por unidad de tiempo, W .

- ✓ $U \equiv$ coeficiente global de transmisión de calor, $W \cdot m^{-2} K^{-1}$.
- ✓ $A \equiv$ área de intercambio de calor, m^2 .
- ✓ $\Delta T_m \equiv$ diferencia media de temperatura, K .

7.2.1.2 Cálculo de la ΔT_m

Para poder calcular el área de transferencia mediante la ecuación (7.4) es necesario conocer el valor de la diferencia de temperaturas media logarítmica. Ésta se calcula como la media logarítmica de las diferencias de temperatura entre los extremos de la zona de intercambio. Se considera que las corrientes fluyen en contracorriente. De este modo:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_e - t_s) - (T_s - t_e)}{\ln \left(\frac{T_e - t_s}{T_s - t_e} \right)} \quad (7.5)$$

siendo:

- ✓ $\Delta T_{ml} \equiv$ diferencia de temperaturas media logarítmica, K .
- ✓ $T_e \equiv$ temperatura de entrada del fluido que circula desde arriba, K .
- ✓ $T_s \equiv$ temperatura de salida del fluido que circula desde arriba, K .
- ✓ $t_e \equiv$ temperatura de entrada del fluido que circula ascendentemente, K .
- ✓ $t_s \equiv$ temperatura de salida del fluido que circula ascendentemente, K .

7.2.2 Zona de relleno

En la zona de relleno se ponen en contacto en contracorriente el vapor que asciende y el líquido que desciende.

El flujo en contracorriente es, en general, el esquema de flujo más deseable en el contacto entre dos fases ya que proporciona la mayor fuerza impulsora, en este caso para la transmisión de calor. En este sistema, las corrientes están esencialmente no mezcladas y predominan condiciones de flujo en pistón. Consiste básicamente en una zona equiparable a una columna o torre cilíndrica cuyo interior está ocupado por una masa de cuerpos sólidos inertes llamados “relleno”. La denominada torre está equipada con una entrada en su parte inferior para introducir el vapor y otra en la parte superior para el líquido, que descenderá en contracorriente con el flujo de gas, mojando uniformemente la superficie del relleno. A medida que el líquido y el vapor van intercambiando energía, el vapor va condensando y se va incorporando a formar parte de la corriente de líquido.

El papel del relleno es proporcionar un gran área de contacto entre el líquido y el gas, favoreciendo así el contacto íntimo entre las fases. La selección del relleno se basa en su capacidad hidráulica, que determina el área necesaria de la sección transversal de la torre. Los principales requerimientos de un relleno son los siguientes:

- ✓ Ha de ser químicamente inerte frente a los fluidos de la torre.
- ✓ Ha de proporcionar un buen contacto entre el líquido y el gas.
- ✓ Ha de ser resistente mecánicamente sin tener un peso excesivo.
- ✓ Ha de tener los pasos adecuados para ambas corrientes sin excesiva retención de líquido o caída de presión.

- ✓ Ha de tener un coste razonable.

La mayoría de los rellenos se construyen con materiales como plástico, arcilla o porcelana por ser materiales inertes, baratos y relativamente ligeros. En este caso, debido a las características especiales de las condiciones en las que se encuentran ambos fluidos, el relleno será metálico.

La velocidad del proceso de absorción viene determinada por factores hidrodinámicos; geometría de contacto, caudales, nivel de turbulencia...y físico-químicos, como son las propiedades de la fase líquida (densidad, tensión superficial y viscosidad). Si la velocidad de flujo es tal que la fase líquida se hace continua y la fase gaseosa se hace dispersa, se consigue una condición muy ineficaz e impredecible llamada “inundación”.

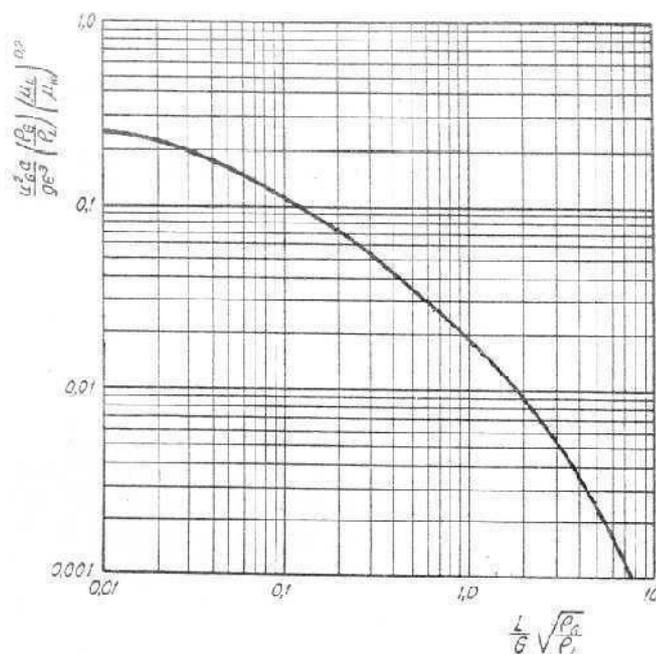


Figura 7.1. Gráfica de Lobo para la determinación de las condiciones de inundación

7.2.3 Cálculo del tamaño inferior del tanque

Para calcular el tamaño necesario de la zona de almacenamiento del líquido se considerará el volumen necesario para que la etapa de bombeo

posterior nunca se quede sin alimentación durante un período de 20 minutos, en el caso de que no hubiese aporte de ninguna de las corrientes de entrada. Se considerará del mismo modo una relación altura/diámetro acorde con las características del equipo.

7.3 R-401

7.3.1 Introducción

En este equipo, por la cabeza entra a la parte inferior del relleno el vapor procedente de los compresores de *boil-off* K-301 A/B/C y asciende por el relleno, mientras que en contracorriente fluye GNL procedente de la etapa de bombeo primario y de la zona de recirculación fría de la zona de descarga de buques que incorpora la terminal. Este líquido entra por la parte superior del relleno, mojando dicho relleno e intercambiando calor en contracorriente con el vapor que asciende. De esta forma, el vapor se condensa y se añade a la corriente de líquido. Por la parte inferior del equipo, en la zona de almacenamiento de líquido que funciona como suministro para las bombas secundarias de alta presión P-411 A/B/C/D, se introduce líquido procedente de la etapa de bombeo primario y de la recirculación fría.

Es importante decir que este equipo ha sido diseñado para las condiciones de máximo envío de gas natural y máxima cantidad de BOG comprimido.

En la Tabla 7.1 se muestran las composiciones de cada corriente.

Tabla 7.1. Composición en fracción molar de las corrientes del R-401

	Vapor BOG	GNL _{cabezas}
<i>Caudal (kmol/h)</i>	805,4	4304
<i>Peso molecular</i>	16,07	18,13

Metano	0,9981	0,89569
Etano	0,0001	0,06824
Propano	0	0,02383
n-Butano	0	0,00601
i-Butano	0	0,00405
n-Pentano	0	0,00004
i-Pentano	0	0,00015
Nitrógeno	0,0018	0,00199

7.3.2 Cálculo de las características de la zona de condensación

En la Tabla 7.2 se muestran las características de cada corriente:

Tabla 7.2. Características de las corrientes del R-401

	VAPOR BOG	GNL
T_{entrada} (K)	238,08	117
$T_{\text{saturación}}^7$ (K)	144	
T_m (K)	191	
P_{entrada} (kPa)	1126	1000
$P_{\text{operación}}$ (kPa)	800	800
λ (kJ/kg)	666	
ρ_m (kg/m ³)	1,996	454
μ_m (Pa s)	10^{-5}	$1,34 \cdot 10^{-4}$
k_m (W m ⁻¹ K ⁻¹)	0,012	0,187
C_{Pm} (kJ kg ⁻¹ K ⁻¹)	2,011	3,124
Caudal (kg/h)	12.939	72.640

Mediante las ecuaciones (7.1), (7.2) y (7.3) se calcula la cantidad de calor que cede la corriente de vapor al condensar.

⁷ Calculada a la presión de operación del equipo

$$Q_T = 3.029 \text{ kW}$$

Esta cantidad de calor es absorbida por la corriente de líquido. Por tanto, mediante la ecuación (7.1) se calcula el incremento de temperatura que sufre el líquido y, por tanto la temperatura de salida del líquido.

$$\Delta T = 48,11 \text{ K} \rightarrow T_{\text{salida GNL}} = 165,11 \text{ K}$$

Mediante la ecuación (7.5) se calcula el ΔT_{ml} considerando las temperaturas que se muestran en la Tabla 7.3. Con el calor intercambiado y esta de temperaturas media logarítmica calculada, suponiendo un coeficiente integral de transmisión de calor de $400 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, se obtiene el área necesaria para llevar a cabo la condensación deseada en las condiciones descritas.

Tabla 7.3. Obtención del valor de ΔT_{ml}

T_e (K)	238,1
T_s (K)	144
t_e (K)	117
t_s (K)	165,11
ΔT_{ml} (K)	46,24

Tabla 7.4. Obtención del área de intercambio

Q_T (kW)	3.029
U ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$)	400
ΔT_{ml} (K)	46,24
A (m^2)	163,77 m^2

Así, se necesita un área de intercambio de $163,77 \text{ m}^2$. Para asegurar que se condensa toda el BOG que llegue al relicuador se sobredimensionará esta área en un 10%. Así, el área de la zona de intercambio será de **180 m^2** .

El relleno utilizado serán anillos Rasching metálicos (acero inoxidable) de 3 in, con un área específica de $72 \text{ m}^2/\text{m}^3$ de material. Por tanto, será necesario un volumen (ya sobredimensionado por las razones de diseño señaladas) de $2,5 \text{ m}^3$. Se considera un cilindro donde estará alojado dicho relleno. Se ha tomado considerado una relación altura/diámetro de 1 y, por tanto la altura del cilindro de **1,5 m** y el resultado del diámetro resulta ser de **1,5 m**. Con estos valores de altura y diámetro se obtiene un volumen real de **2,6 m³** En la

Tabla 7.5 se muestra un resumen de las características de la zona de relleno.

Tabla 7.5. Características geométricas de la columna de relleno

L (m)	1,5
d (m)	1,5
V (m ³)	2,6
Relleno	
Anillos rasching	
Diámetro	3 in (76 mm)
Densidad	400 (kg/m ³)
Área especif.	72 m ² /m ³

Para ver el comportamiento hidráulico de la columna se calcula el parámetro conocido como inundación. Un régimen alto de inundación es favorable ya que mejora el rendimiento de la columna pero si se inunda de todo es desfavorable ya que se pasaría a tener una capa continua de líquido que empeoraría mucho la transmisión de calor y entorpecería el objetivo para el cual ha sido diseñada la columna. Con los datos de caudal másico y densidad y viscosidad de ambas corrientes que se han presentado en la Tabla 7.2, junto con el área específica del material de relleno y la Figura 7.1 se calcula el

porcentaje de inundación que resulta ser de un **86%**, valor aceptable para las necesidades de la columna.

7.3.3 Zona de almacenamiento de líquido

Para calcular las dimensiones de la zona inferior del relicuador R-401, es necesario saber las cantidades de líquido y vapor que van a entrar al sistema. Como ya se ha comentado en repetidas ocasiones, el equipo está diseñado para las condiciones de máxima producción de la planta.

Así, se considera, que estarían funcionando los tres vaporizadores, los dos de agua de mar (E-410 y E-420), y el SCV (E-430), para lo que es necesario que estén en funcionamiento tres bombas de primarias y tres bombas secundarias (siempre se considera en *stand-by* una bomba primaria y una bomba secundaria para condiciones de máxima emisión).

Las cantidades de GNL y BOG que entran al equipo se muestran en la Tabla 7.6

Tabla 7.6. Cantidades de entrada y salida al equipo

ENTRADAS	
BOG _{cabeza} (kg/h)	12.939
GNL _{cabeza} (kg/h)	72.640
GNL _{colas} (kg/h)	450.000
TOTAL	535.579 kg/h

Considerando un tiempo de residencia del líquido en el equipo de 20 minutos, y que el volumen de líquido es de unos 1.180 m³/h, y considerando forma cilíndrica con una relación altura/diámetro de 2 se obtienen los valores que se muestran en la Tabla 7.7.

Tabla 7.7. Características del depósito de colas

Diámetro (m)	6,3
Altura (m)	12,6

En la Tabla 7.8 se muestran las características del R-401

Tabla 7.8. Características del R-401

Zona de condensación (cabeza)	
L (m)	1,5
d (m)	1,5
V (m ³)	2,6

Relleno	

Anillos rasching	
Diámetro	3 in (76 mm)
Densidad	400 (kg/m ³)
Área especif.	72 m ² /m ³
Zona de residencia (colas)	
D (m)	6,3
L (m)	12,6
L_{TOTAL} (m)	19

8 SISTEMAS DE IMPULSIÓN DE LÍQUIDOS

8.1 Desarrollo teórico

8.1.1 Introducción

La finalidad de las bombas es impulsar un fluido desde un punto a otro. Para lograr este objetivo, las bombas le comunican al fluido la energía necesaria para vencer todas las pérdidas de presión que sufre en la distancia a recorrer.

8.1.2 Método de diseño

8.1.2.1 Trabajo realizado por la bomba

El diseño de una bomba se refiere al cálculo de la potencia que debe suministrar. La potencia requerida por una bomba para la impulsión de un fluido se calcula aplicando un balance de energía mecánica entre el punto desde el que se quiere impulsar el fluido (punto 1) y el punto al que dicho fluido se quiere hacer llegar (punto 2). Este balance de energía se resume en la ecuación (8.1)

$$W = g \cdot (h_2 - h_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{\Sigma F_1 + \Sigma F_2}{\rho} \quad (8.1)$$

donde:

- ✓ $W \equiv$ Trabajo realizado por la bomba, J/kg
- ✓ $g \equiv$ Aceleración de la gravedad, m^2/s
- ✓ $h \equiv$ Altura en el punto considerado, m
- ✓ $v \equiv$ Velocidad del fluido en el punto considerado, m/s
- ✓ $\rho \equiv$ Densidad del fluido transportado, kg/m^3
- ✓ $P \equiv$ Presión en el punto considerado, Pa
- ✓ $\Sigma F_2 \equiv$ Pérdidas de carga por fricción en descarga, Pa
- ✓ $\Sigma F_1 \equiv$ Pérdidas de carga por fricción en aspiración, Pa

8.1.2.2 Potencia de bombeo

Una vez calculado el trabajo realizado por la bomba, se calcula la potencia necesaria de la bomba con la ecuación (8.2).

$$P = \frac{W \cdot G}{\eta} \quad (8.2)$$

donde:

- ✓ *Potencia* \equiv Potencia de bombeo necesaria, *W*
- ✓ *W* \equiv Trabajo realizado por la bomba, *J/kg*
- ✓ *G* \equiv Caudal másico de fluido, *kg/s*
- ✓ η \equiv Rendimiento de la bomba, considerado en 70%

8.1.2.3 Carga neta positiva de aspiración (NPSH)

Con el término *Carga Neta Positiva de Aspiración* se hace referencia a la diferencia que existe entre la presión en un punto y la presión de vapor del líquido en dicho punto. Se trata de un parámetro importante ya que, si la presión en el circuito es menor que la presión de vapor del líquido, este se vaporiza, produciendo el fenómeno conocido como cavitación.

En las instalaciones de bombeo se debe tener en cuenta la NPSH requerida en la aspiración de la bomba, diferenciándose dos tipos de NPSH:

- ✓ NPSH requerida: es el valor mínimo necesario para evitar que la bomba Cavite. Se trata de un dato que debe proporcionar el fabricante de la bomba y que depende de su esquema de operación.
- ✓ NPSH disponible: es el valor que nos permite la configuración de la propia instalación de la que se dispone. Se puede modificar cambiando la posición relativa de los puntos de aspiración y descarga de la bomba. Este valor siempre tiene que ser superior al requerido. Para calcularlo se utiliza la ecuación (8.3).

$$NPSH = \frac{(P_1 + \rho \cdot g \cdot h_1 - \Sigma F_1) - P_v}{\rho \cdot g} \quad (8.3)$$

donde:

- ✓ $NPSH \equiv$ Carga neta positiva de aspiración disponible, m
- ✓ $P_1 \equiv$ Presión en el punto 1, J/kg
- ✓ $\rho \equiv$ Densidad del fluido, kg/m^3
- ✓ $g \equiv$ Aceleración de la gravedad, m/s^2
- ✓ $h_1 \equiv$ Altura desde el nivel del líquido hasta la aspiración, m
- ✓ $\Sigma F_1 \equiv$ Pérdidas de carga por fricción en aspiración, Pa
- ✓ $P_v \equiv$ Presión de vapor del fluido, Pa

8.1.2.4 Pérdidas de carga

El cálculo de pérdidas de carga por fricción en tuberías se llevará a cabo en función del material de la conducción y de las condiciones de operación. En este caso se utilizará la ecuación de *Darcy-Weisbach* en función del caudal:

$$h = 8,26 \cdot 10^{-2} \cdot f \cdot \frac{L}{D^5} \cdot Q^2 \quad (8.4)$$

donde:

- ✓ $h \equiv$ Pérdida de carga, m
- ✓ $f \equiv$ Factor de fricción, (adim)
- ✓ $L \equiv$ Longitud de la tubería, m
- ✓ $D \equiv$ Diámetro interno de la tubería, m
- ✓ $Q \equiv$ Caudal volumétrico de fluido, m^3/s

En lo que se refiere al cálculo del factor de fricción f , se usará la ecuación de Swamee (1993), una de las más recientes para el cálculo de este factor adimensional.

$$f = \left\{ \left(\frac{64}{Re} \right)^8 + 9,5 \cdot \left[\ln \left(\frac{5,74}{Re^{0,9}} + \frac{k}{3,7 \cdot D} \right) - \left(\frac{2.500}{Re} \right)^6 \right]^{-1,6} \right\}^{0,125} \quad (8.5)$$

donde:

- ✓ $k \equiv$ Rugosidad absoluta del material, m
- ✓ $f \equiv$ Factor de fricción, (adim)
- ✓ $Re \equiv$ Número de Reynolds,
- ✓ $D \equiv$ Diámetro interno de la tubería, m

Por motivos de seguridad y a efectos de estimar las pérdidas de carga debidas a los accesorios, se multiplicará el valor obtenido mediante la ecuación (8.4) por 1,5.

8.2 Sistema de bombeo primario

8.2.1 Introducción

Para esta instalación, se denominan bombas primarias, o sistema de bombeo primario, a las bombas que se encuentran alojadas dentro de los tanques de almacenamiento GNL. Son las bombas P-211A/B (tanque T-211), y las P-221A/B (tanque 221). Como ya se ha explicado en el apartado de descripción del proceso del documento I de este proyecto, son bombas sumergidas que están inmersas en el fluido criogénico quien actúa a su vez de lubricante. La misión de estas bombas es impulsar dicho fluido desde el interior de los tanques para, por un lado como misión secundaria (pero no menos importante) durante la ausencia de descarga de buque mantener un mínimo caudal de recirculación por las zonas y equipos que no están siendo utilizados (ver plano 2, *diagrama de flujo*) y, por otro lado enviar el GNL al relicuador R-

401, donde se condensa el BOG procedente de la etapa de compresión, y de donde aspiran las bombas secundarias (P-411A/B/C/D).

8.2.2 Condiciones de diseño

La cantidad de fluido que será capaz de impulsar cada una de las bombas primarias vendrá dado por la cantidad máxima de diseño de GNL que es capaz de vaporizar cada uno de los vaporizadores (E-410, E-420 y E-430) que se considera de 150.000 kg/h de GNL. Teniendo en cuenta que la densidad del GNL varía en función de su procedencia,... se estimará para el cálculo del caudal volumétrico que impulsará la bomba una densidad de 420 kg/m³ y se le sumará un 30% para considerar la cantidad de líquido que se envía hacia la recirculación, se obtiene un caudal de diseño de **465 m³/h**. En la Figura 8.1 se muestra un esquema de la configuración de la una bomba primaria.

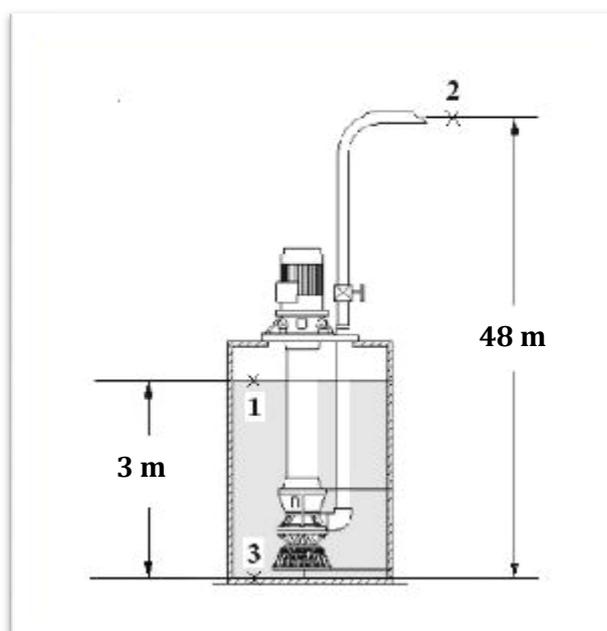


Figura 8.1. Esquema de montaje de bomba primaria

En la Figura 8.1 se muestra las condiciones más desfavorables en las que la bomba tendrá que funcionar. Se considera una altura mínima del líquido

en el tanque de 3 m y una altura máxima de impulsión de 48 m, hasta la cabeza del relicuador. La presión en el punto 1 se puede considerar de 10^5 Pa y en el punto 2 de 10^6 Pa.

Para el cálculo del trabajo realizado por la bomba, así como de la potencia consumida y la $NPSH_{disponible}$ por la misma se usarán las ecuaciones (8.1), (8.2) y (8.3) En la Tabla 8.1 se resumen los datos y valores obtenidos.

Tabla 8.1. Condiciones de diseño de las bombas primarias

Condiciones de diseño	
$Q_{diseño}$ (m ³ /h)	465
T (°C)	-160
ρ (kg/m ³)	458
h_1 (m)	3
h_2 (m)	48
P_1 (Pa)	10^5
P_2 (Pa)	10^6
η (%)	70
ΣF_1 (Pa)	0
ΣF_2 (Pa)	5.122
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>	
W (J/kg)	2.417
Potencia (kW)	212
$NPSH_{disponible}$ (m)	25

8.3 Sistema de bombeo secundario

8.3.1 Introducción

En el caso de las bombas secundarias, las P-411A/B/C/D, su misión es impulsar el fluido (GNL en este caso) desde la salida del relicuador (R-401) hasta la entrada de los vaporizadores (E-410, E-420 y E-430).

8.3.2 Condiciones de diseño

La cantidad de fluido que será capaz de impulsar cada una de las bombas secundarias vendrá dado por la cantidad máxima de diseño de GNL que es capaz de vaporizar cada uno de los vaporizadores (E-410, E-420 y E-430) que se considera de 150.000 kg/h de GNL. Teniendo en cuenta que la densidad del GNL varía en función de su procedencia,... se estimará para el cálculo del caudal volumétrico que impulsará la bomba una densidad de 420 kg/m³ y sobredimensionándola un 10% respecto al caudal, se obtiene un caudal de diseño de **390 m³/h**. En la Figura 8.1 se muestra un esquema de la configuración de la una bomba secundaria.

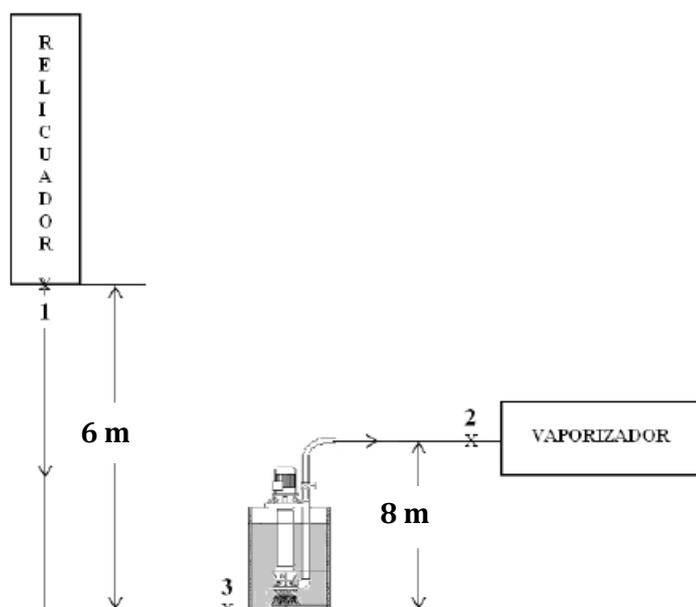


Figura 8.2. Esquema de montaje de bomba primaria

En la Figura 8.2 se muestra las condiciones más desfavorables en las que la bomba tendrá que funcionar. Se considera una diferencia de altura entre la salida del R-401 y la impulsión de las P-411A/B/C/D de 6 m, desde la descarga de dichas bombas hasta la entrada del GNL a los vaporizadores de 8 m. La presión en el punto 1 se puede considerar de 10^6 Pa y en el punto 2 de $8,5 \cdot 10^6$ Pa (Presión de diseño de los ORV y presión de salida a gaseoducto).

Para el cálculo del trabajo realizado por la bomba, así como de la potencia consumida y la $NPSH_{disponible}$ por la misma se usarán las ecuaciones (8.1), (8.2) y (8.3) En la Tabla 8.2 se resumen los datos y valores obtenidos.

Tabla 8.2. Condiciones de diseño de las bombas secundarias

Condiciones de diseño	
$Q_{diseño}$ (m ³ /h)	390
T (°C)	-156
ρ (kg/m ³)	458
h_1 (m)	6
h_2 (m)	8
P_1 (Pa)	10^6
P_2 (Pa)	$8,5 \cdot 10^6$
η (%)	70
ΣF_1 (Pa)	0
ΣF_2 (Pa)	3.840
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>	
W (J/kg)	16.406
Potencia (kW)	1.200
$NPSH_{disponible}$ (m)	228

8.4 Sistema de bombeo de agua de mar

8.4.1 Introducción

En el caso de las bombas de agua de mar, las P-501 A/B/C, su misión es impulsar el fluido (agua de mar en este caso) desde su situación, sumergidas en una plataforma de hormigón a 10 m de profundidad, hasta la entrada de los vaporizadores (E-410 y E-420).

8.4.2 Condiciones de diseño

La cantidad de fluido que será capaz de impulsar cada una de las bombas de agua de mar vendrá dado por la cantidad máxima de diseño de agua que necesita como fluido calefactor cada uno de los vaporizadores (E-410 y E-420) que se considera de unos 5.490.194 kg/h de agua de mar. Considerando la densidad del agua de mar de 1.025 kg/m³ se obtiene un caudal volumétrico de 5.360 m³/h.

Para el cálculo del trabajo realizado por la bomba, así como de la potencia consumida y la NPSH_{disponible} por la misma se usarán las ecuaciones (8.1), (8.2) y (8.3) En la Tabla 8.3 se resumen los datos y valores obtenidos.

Tabla 8.3. Condiciones de diseño de las bombas de agua de mar

Condiciones de diseño	
Q _{diseño} (m ³ /h)	5.360
T (°C)	15
ρ (kg/m ³)	1.025
h ₁ (m)	10
h ₂ (m)	23
P ₁ (Pa)	116.392
P ₂ (Pa)	2·10 ⁵
η (%)	70

ΣF_1 (Pa)	0
ΣF_2 (Pa)	6.521
<hr/>	
W (J/kg)	210
Potencia (kW)	474
NPSH _{disponible} (m)	21,3
<hr/>	

9 CÁLCULO DE TUBERÍAS

9.1 Introducción

El parámetro de diseño para las tuberías es el diámetro económicamente óptimo de la misma. Dicho diámetro se elige en función de un equilibrio entre un valor que suponga bajos costes de bombeo (debido a una sección de paso suficientemente grande) y bajos costes en material (para lo que es recomendable una sección de paso pequeña). También hay que tener en cuenta la velocidad del fluido (altas velocidades pueden producir erosiones y bajas velocidades pueden dar lugar a ensuciamientos).

Para realizar una estimación preliminar, se puede usar la ecuación (9.1):

$$D_{est} = 226 \cdot m^{0,5} \cdot \rho^{-0,35} \quad (9.1)$$

donde:

- ✓ $D_{est} \equiv$ diámetro estimado de la tubería, mm
- ✓ $m \equiv$ caudal másico de fluido, kg/s
- ✓ $\rho \equiv$ densidad del fluido, kg/m^3

A partir de este valor inicial, se determina el diámetro teniendo en cuenta que las velocidades de circulación del fluido y las caídas de presión en la línea sean asumibles. En la Tabla 9.1 se muestran valores habituales de velocidad y pérdidas de carga en líneas.

Tabla 9.1. Rango de velocidades y pérdidas de carga admisibles

RANGO DE VELOCIDADES	
Fluido circulante	v (m/s)
Líquido	1-3
Gas	
<i>Gas a elevada presión</i>	5-10
<i>Gas a presión atmosférica</i>	10-30
PÉRDIDAS DE CARGA	
Líquidos bombeados no viscosos	0,5-1
Gases y vapores	0,02% de la presión de la línea

El diámetro finalmente seleccionado debe ser el valor *standard* más próximo al calculado. En lo referente al espesor, se recomienda el empleo de Sch-40 cuando se trabaja a presiones menores de 16 bar, y Sch-80 en caso contrario.

Una vez determinado el diámetro de la tubería y el caudal volumétrico del fluido, se calcula la velocidad del mismo mediante la ecuación (9.2).

$$v = \frac{m}{\pi \cdot \frac{d_i^2}{4} \cdot \rho} \quad (9.2)$$

donde:

- ✓ $d_i \equiv$ diámetro estimado de la tubería, m
- ✓ $m \equiv$ caudal másico de fluido, kg/s
- ✓ $\rho \equiv$ densidad del fluido, kg/m^3
- ✓ $v \equiv$ velocidad del fluido, m/s

Para el cálculo de las pérdidas de carga se usarán las ecuaciones descritas en el apartado 8.1.2.4 de este anexo de cálculos justificativos.

9.2 Características de las tuberías

En el diseño de las tuberías de esta instalación se han considerado dos materiales distintos, en función del fluido que circula por las mismas. Por un lado, las tuberías que soportarán temperaturas criogénicas (por las que circula GNL y gas natural) serán de acero inoxidable tipo AISI 304 (contenido en níquel 9%), y por otro lado las que se usarán con agua de mar serán de GRP(*Gas Reinforced Epoxi*), y su espesor será de 0,05 m.

En la Tabla 9.1. se muestran las dimensiones de las principales tuberías de planta.

TÍTULO: PLANTA DE REGASIFICIÓN OFFSHORE DE GNL

TUBERÍAS

PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N

15405 - FERROL

FECHA: JUNIO DE 2014

AUTOR: EL ALUMNO

Fdo.: JUAN SEBASTIAN REY PIÑON

Tubería	Fluido	Material	k (mm)	Q _{máx.} (m ³ /h)	L _{estimada} (m)	D _{estimado} (mm)	D _{nominal} (in)	Sch	v(m/s)	f _{Swamee}	H _{r.} (Pa)
1	GNL	Acero	0,05	465	35	203,75	10	40	2,54	0,014	4.361
2	GNL	Acero	0,05	465	35	203,75	10	40	2,54	0,014	4.361
3	GNL	Acero	0,05	930	5	288,15	12	40	3,58	0,014	991
4	GNL	Acero	0,05	12.000	20	1035,05	36	40	5,13	0,011	2.185
5	GNL	Acero	0,05	300	20	163,66	8	40	2,58	0,015	3.391
6	GNL	Acero	0,05	1.395	5	352,91	16	40	3,40	0,013	682
7	GNL	Acero	0,05	1.695	20	389,01	18	40	3,26	0,013	2.184
8	GNL	Acero	0,05	1.695	5	389,01	18	40	3,26	0,013	546
9	GNL	Acero	0,05	158	20	118,74	5	40	3,39	0,016	10.122
10	GNL	Acero	0,05	1.170	18	323,19	14	40	3,72	0,013	3.442
11	GNL	Acero	0,05	390	6	186,60	8	40	3,36	0,015	1.705
12	GNL	Acero	0,05	390	6	186,60	8	80	3,68	0,015	2.156
13	GNL	Acero	0,05	390	10	186,60	8	80	3,68	0,015	3.593
14	GN	Acero	0,05	1.993	10	330,28	16	80	5,33	0,013	679
15	GN	Acero	0,05	5.980	100	572,06	36	80	2,55	0,011	528
16	GN	Acero	0,05	938	8	130,69	6	40	13,95	0,017	288
17	GN	Acero	0,05	1.875	20	184,82	8	40	16,14	0,015	687
18	GN	Acero	0,05	1.875	5	184,82	8	40	16,14	0,015	172
19	GN	Acero	0,05	3.750	4	261,37	10	40	17,79	0,014	116
20	GN	Acero	0,05	3.750	5	490,57	24	40	5,81	0,012	492
21	GN	Acero	0,05	3.750	15	490,57	24	40	5,81	0,012	1.477
22	GN	Acero	0,05	900	30	128,04	6	40	13,39	0,017	1.000
23	GNL	Acero	0,05	3.000	5	517,53	24	40	3,21	0,012	374
24	GNL	Acero	0,05	12.000	10	1035,05	36	40	5,13	0,011	1.092
25	Ag. de mar	GRP	0,002	5.500	6	790,22	36		2,35	0,011	296
26	Ag. de mar	GRP	0,002	11.000	60	1117,54	36		4,70	0,010	10.693
27	Ag. de mar	GRP	0,002	5.500	12	790,22	36		2,35	0,011	592
28	Ag. de mar	GRP	0,002	5.500	50	790,22	36		2,35	0,011	2.468

TÍTULO: PLANTA DE REGASIFICIÓN OFFSHORE DE GNL

PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N

15405 - FERROL

FECHA: JUNIO DE 2014

AUTOR: EL ALUMNO

Fdo.: JUAN SEBASTIAN REY PIÑON

ÍNDICE

1	DISPOSICIONES GENERALES.....	1
1.1	<i>Objetivo de este pliego.....</i>	<i>1</i>
1.2	<i>Concurso.....</i>	<i>1</i>
1.3	<i>El Contrato; responsabilidad del Adjudicatario.....</i>	<i>3</i>
1.4	<i>Programación de los trabajos.....</i>	<i>6</i>
1.5	<i>Estudios. Documentación técnica.....</i>	<i>8</i>
1.6	<i>Seguridad y accidentes de trabajo.....</i>	<i>11</i>
2	CALIDAD DE LOS MATERIALES.....	12
2.1	<i>Materiales en general.....</i>	<i>12</i>
2.2	<i>Aceros.....</i>	<i>12</i>
2.3	<i>Resto de materiales.....</i>	<i>13</i>
3	NORMAS DE CÁLCULO.....	13
3.1	<i>Normativa.....</i>	<i>13</i>
4	DISPOSICIONES GENERALES DE LAS OBRAS.....	14
4.1	<i>Replanteo de la obra.....</i>	<i>14</i>
4.2	<i>Plazos de ejecución.....</i>	<i>15</i>
4.3	<i>Mano de obra.....</i>	<i>15</i>
4.4	<i>Reformas en el proyecto.....</i>	<i>17</i>
4.5	<i>Contradicciones, omisiones o errores en los documentos.....</i>	<i>18</i>
4.6	<i>Trabajos defectuosos o no autorizados.....</i>	<i>19</i>
4.7	<i>Suspensión de las obras.....</i>	<i>20</i>
4.8	<i>Seguros.....</i>	<i>22</i>
5	ENSAYOS, PRUEBAS Y PROTECCIONES.....	23

5.1	<i>Ensayos en taller.....</i>	23
5.2	<i>Presentación en taller.....</i>	23
5.3	<i>Protección contra la corrosión.....</i>	24
6	FABRICACIÓN, MONTAJE, RECEPCIÓN Y GARANTÍAS.....	24
6.1	<i>Inspección fabril.....</i>	24
6.2	<i>Montaje e inspección.....</i>	25
6.3	<i>Controles.....</i>	26
6.4	<i>Prueba hidráulica en taller.....</i>	27
6.5	<i>Acta fin de montaje.....</i>	27
6.6	<i>Ajustes, ensayos y servicio experimental.....</i>	27
6.7	<i>Recepción provisional.....</i>	28
6.8	<i>Periodo de garantía.....</i>	28
6.9	<i>Recepción definitiva.....</i>	29
7	ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE, SEGUROS Y ADUANAS.....	30
7.1	<i>Almacenamiento.....</i>	30
7.2	<i>Transporte.....</i>	31
7.3	<i>Seguros.....</i>	32
7.4	<i>Aduanas.....</i>	32
8	ORGANIZACIÓN DE LAS OBRAS.....	33
8.1	<i>Dirección de las obras y representación del adjudicatario..</i>	33
8.2	<i>Terrenos necesarios para la ejecución de las obras.....</i>	35
8.3	<i>Instalaciones auxiliares.....</i>	36
8.4	<i>Relación entre la propiedad y los diversos contratistas.....</i>	38
8.5	<i>Subcontratación de obras.....</i>	39

8.6	<i>Personal de montaje</i>	40
8.7	<i>Seguros y asistencia médica</i>	41
9	CONDICIONES DE PAGO Y LEGISLACIÓN	42
9.1	<i>Definición de precios</i>	42
9.2	<i>Prestaciones accesorias y trabajos por administración</i>	43
9.3	<i>Trabajos no previstos</i>	45
9.4	<i>Revisión de precios</i>	46
9.5	<i>Condiciones de pago</i>	48
9.6	<i>Penalidades</i>	49
9.7	<i>Indemnización a favor del Adjudicatario</i>	50
9.8	<i>Cese o aplazamiento de los trabajos. Rescisión del Contrato</i>	50
9.9	<i>Legislación</i>	53

1 DISPOSICIONES GENERALES

1.1 Objetivo de este pliego

El objetivo del presente pliego de condiciones es definir el conjunto de directrices, requisitos y normas aplicables al desarrollo de las obras a las que se refiere el proyecto del que forma parte. Contiene las condiciones técnicas normalizadas referentes a los materiales y equipos, el modo de ejecución, medición de las unidades de obra y, en general, cuantos aspectos han de regir en las obras comprendidas en el presente proyecto. El pliego de condiciones constituye el documento más importante desde el punto de vista contractual.

El contratista está obligado a ejecutar el proyecto según se especifica en el pliego de condiciones.

Del mismo modo, la administración podrá conocer de forma detallada las diferentes tareas que se desarrollarán durante la ejecución del proyecto.

1.2 Concurso

Constituyen objeto de concurso restringido las empresas que la Propiedad juzgue oportuno invitar, el suministro de los equipos, materiales y servicios definidos en este Pliego y documentación complementaria.

La propiedad se reserva el derecho a introducir modificaciones de detalle o a exigir la prestación de servicios o suministros suplementarios que el Adjudicatario pueda prestar o realizar.

El Adjudicatario podrá proponer modificaciones de las especificaciones del suministro, debiendo hacerlo siempre que, por efecto de utilización de patentes o por otras razones, lo juzgue técnica y económicamente aconsejable.

Las especificaciones y las descripciones del suministro no son limitativas, debiendo el Adjudicatario facilitar todos los datos e información que estime indispensables para conseguir plenamente los fine del contrato.

Los Concursantes deberán presentar un Cuadro de Precios Unitarios, reseñando todos los que figuren en el Cuadro de Precios del Anteproyecto.

Presentarán asimismo los Presupuestos Parcial y General correspondientes, una descripción de la organización de sus trabajos en la que se encuentre incluida la relación de personal técnico que tendrá a su cargo durante la realización de las obras, y una lista detallada de la maquinaria o medios a utilizar, con sus requerimientos y sus capacidades, para cumplir los plazos establecidos. Asimismo, indicará las fechas límite en que se debe recibir de la Propiedad la información complementaria necesaria para poder desarrollar sus trabajos de acuerdo con el plan de obra previsto.

Se considera como documento fundamental para la adjudicación del concurso el Cuadro de Precios presentado. Los errores que pudieran haberse cometido en los presupuestos serán subsanados por la Propiedad o su representante legal, al estudiar las ofertas a partir de los datos del citado Cuadro y de las mediciones del Anteproyecto.

Los precios unitarios se consideran actualizados hasta la fecha de presentación de la oferta que se indica en la carta de invitación. Las actualizaciones a fechas posteriores se harán de acuerdo con lo que figura en el epígrafe "Revisión de precios" del capítulo 9 del presente Pliego de Condiciones.

En los precios unitarios deberá estar incluida la parte proporcional de los gastos generales, instalaciones, beneficios, etc., y todos los posibles gastos directos o indirectos relacionados con ellos.

Se hace constar que los planos que constituyen el Anteproyecto son planos de concurso que sirven única y exclusivamente para la redacción de las proposiciones de los Concursantes.

No se considerará válida ninguna oferta que se presente fuera del plazo de validez señalado en la carta de invitación o que no conste de todos los documentos que se señalen en los apartados correspondientes del presente Pliego.

Se considera como plazo de validez de las ofertas el período que se indica en la carta de invitación.

La Propiedad pasará notificación del resultado del concurso a los diferentes Concursantes. Si el Concursante no recibiese esta comunicación en el plazo citado también señalado en la carta de invitación, puede notificar a la Propiedad su renuncia al concurso.

La Propiedad comunicará al Adjudicatario la concesión de los trabajos objeto del concurso. La fecha de comienzo de los mismos será la que figure en el programa de trabajo.

Durante el período comprendido entre la adjudicación y la fecha de inicio de los trabajos se formalizará entre la Propiedad y el Adjudicatario el Contrato que estipula el artículo correspondiente de este pliego.

1.3 El Contrato; responsabilidad del Adjudicatario

Serán de cuenta del Adjudicatario los gastos fiscales y todo tipo de gastos a que dé lugar la formalización del Contrato.

Cualquiera de las dos partes que intervienen en el contrato puede solicitar la elevación a escritura pública del convenio de adjudicación, siendo los gastos que origine dicha elevación a cargo de la parte cuya petición se realice.

El Adjudicatario es el responsable único por la totalidad del suministro y servicios que se indican en el contrato, en estricto cumplimiento de las disposiciones contractuales y de las buenas normas de las técnicas. Esta responsabilidad implica que serán de su cuenta todas las modificaciones, reparaciones y sustituciones

indispensables al exacto cumplimiento del contrato, así como de las indemnizaciones justificadas por perjuicios causados por deficiencias, errores o atrasos laborales.

En caso necesario, la Propiedad podrá suspender los pagos al Adjudicatario y pedir indemnizaciones de acuerdo con lo establecido en el contrato, sin perjuicio de la aplicación de penalidades o de rescisión, conforme a lo establecido en el Artículo correspondiente de este Pliego.

Las relaciones con el Adjudicatario serán establecidas a través de las personas o entidades designadas por la Propiedad.

La Propiedad podrá hacerse presentar por consultores u otras entidades que puedan elegir para colaborar en los estudios, fabricación, montaje y ensayos.

El representante del Adjudicatario será designado por éste, de acuerdo con la Propiedad. Durante el período de montaje esta representación estará presente y será responsable del equipo de montaje.

El Adjudicatario estará representado en todas las reuniones convocadas por la Propiedad, con un plazo no inferior a 8 días, en la obra o en cualquier otro lugar que se indique, mediante presencia de técnicos de especialidades adecuadas a los objetivos de las reuniones.

La lista de proveedores principales y empresas colaboradoras del Adjudicatario establecida de común acuerdo, entre éste y la Propiedad, no podrá ser modificada sin la aprobación previa, escrita, de la Propiedad.

La aprobación por parte de la Propiedad de la lista de proveedores y empresas colaboradoras del Adjudicatario, no disminuirá en ningún caso la responsabilidad de éste.

No podrá el Adjudicatario ceder ni traspasar a terceros ninguna de sus obligaciones o derechos, ni utilizar en la ejecución de los trabajos otras empresas o sociedades que las que figuren en el contrato como aceptadas por la Propiedad.

En todos los casos, el Adjudicatario es plenamente responsable del Contrato ante la Propiedad, personal obrero y terceras personas.

Si el Adjudicatario, sin autorización escrita de la Propiedad, cediese o traspasase a terceros cualquiera de sus obligaciones o derechos nacidos del Contrato, o utilizase en la ejecución de las obras empresa o sociedad que no estuviese previamente aceptada por la Propiedad, ésta aplicará las sanciones que crea oportunas llegando si fuese necesario a la rescisión del contrato, en cuyo caso sería de aplicación todo lo que se dice en el Artículo correspondiente de este Pliego, referente a los casos de rescisión por incumplimiento por parte del Adjudicatario de las obligaciones o disposiciones del contrato.

La Propiedad puede indicar, en la carta de invitación el concurso, la fianza inicial y retenciones de garantía que se descontarán de las certificaciones.

Todas estas cantidades retenidas por la Propiedad responden del cumplimiento de sus obligaciones del Adjudicatario y quedarán a beneficio de la Propiedad en los casos de rescisión o abandono del trabajo por causas imputables al Adjudicatario.

El Adjudicatario responde, además, del cumplimiento de sus obligaciones, con todos los medios auxiliares, maquinaria y materiales que tenga depositados en la obra, los cuales no podrán ser retirados de la misma sin autorización escrita de la Propiedad.

Al mismo tiempo, el Adjudicatario es el único responsable de la correcta ejecución técnica de las obras, no teniendo derecho a indemnización alguna por el mayor precio que pudiese resultar, ni por las falsas operaciones que cometa durante la construcción, ni por las modificaciones que la Dirección Facultativa tenga a bien marcar, siendo dichas operaciones de su cuenta y riesgo, independientemente de las inspecciones ejercidas por la Dirección Técnica.

1.4 Programación de los trabajos

El programa general de los trabajos (estudios, aprovisionamiento, fabricación, transporte, montaje y ensayos) a presentar con la propuesta deberá respetar las pautas indicadas en estas normas e información complementaria facilitada.

Este programa deberá ser desarrollado, según las condiciones especificadas en estas normas, en otro de detalle, en el que se señalarán las fechas de conclusión de cada uno de las actividades mencionadas en el programa de trabajo inicial, así como las fechas intermedias cuyo incumplimiento dé lugar a la aplicación de las penalizaciones. El plazo de presentación de este programa detallado será de treinta días a partir de la fecha de adjudicación.

El programa referido en el párrafo anterior deberá indicar las fechas límite en que se consideren indispensables los suministros para asegurar la continuidad de los trabajos, así como los datos referentes a la posibilidad del inicio o continuación de los trabajos de terceros.

La determinación del orden de las obras será facultad potestativa del Adjudicatario, salvo en aquellos casos en los que por cualquier circunstancia de orden técnico se estime conveniente su variación por el Ingeniero Director.

Todos los trabajos se ejecutarán en estricto seguimiento del Proyecto que ha servido de base, a las modificaciones que sobre el mismo hayan sido aprobadas y a las órdenes e instrucciones que entregue el Ingeniero Director al Adjudicatario, siempre que se encaje dentro de la cifra a que asciende los presupuestos aprobados.

El programa contractual de los trabajos no podrá ser alterado sin la conformidad expresa de la Propiedad. Además, siempre que la Propiedad proponga una alteración del programa, el Adjudicatario se compromete a hacer todo lo posible para dar cumplimiento al deseo de la Propiedad, lo mismo se trate de adelantar como de atrasar un suministro.

El Adjudicatario dará comienzo a las obras en el plazo marcado, desarrollándolas en la forma necesaria para que la ejecución total se lleve a cabo dentro del plazo exigido en el Contrato realizado con la Propiedad.

Obligatoriamente y por escrito, el Adjudicatario deberá dar cuenta al Ingeniero Director del comienzo de los trabajos antes de veinticuatro horas desde su iniciación.

Si los trabajos se desarrollan con retraso respecto al programa aprobado, serán aplicadas las penalizaciones correspondientes. Si dicha demora fuese producida por motivos no imputables al Adjudicatario, éste puede solicitar a la Propiedad una prórroga del plazo de ejecución de las obras, postergación que será igual al tiempo perdido, a no ser que el Adjudicatario solicite que fuese menor. La petición de prórroga por parte del Adjudicatario deberá tener lugar en el plazo mínimo de un mes desde el día que se produzca la causa originaria del retraso, alegando las razones por las que se estime no serle imputable y señalando el tiempo probable de su duración al efecto de que la Propiedad pueda oportunamente y siempre antes de la terminación del plazo del contrato, resolver la prórroga del mismo y sin perjuicio de que una vez desaparecida la causa, se reajuste el plazo al tiempo realmente perdido.

En caso de que el Adjudicatario no solicite la prórroga en el plazo anteriormente señalado, se entenderá que renuncia a su derecho y que considerará, a efectos de la aplicación del contrato, que los retrasos que se produzcan en relación con el programa de trabajos contractual son imputables al Adjudicatario.

El Adjudicatario se someterá a las Leyes, Reglamentos y Ordenanzas vigentes, así como los que se dicten durante la ejecución de las obras.

El Adjudicatario queda obligado al cumplimiento de la legislación vigente en lo relativo a los accidentes de trabajo desde que toma a su cargo la organización de los trabajos contratados.

1.5 Estudios. Documentación técnica

Por el hecho de acusar recibo de encargo, el Adjudicatario reconoce haber recibido de la Propiedad todos los datos y documentos de base necesarios para estudios y Proyectos.

El Adjudicatario debe pedir a la Propiedad, con la antelación suficiente, todas las informaciones complementarias y de detalle indispensables para la buena ejecución del suministro.

Los documentos contractuales y todos aquellos que la propiedad entregue durante la ejecución del contrato, deben ser cuidadosamente revisados por el Adjudicatario. En caso de errores u omisiones, el Adjudicatario deberá proponer las modificaciones que estime convenientes para una buena ejecución del suministro.

El Adjudicatario proporcionará, en la fecha que se señale en el programa general de trabajo, con los datos y condiciones indicados en estas normas y demás documentos que le entregue la Propiedad, la memoria, cálculos justificativos, características de los materiales, especificaciones relativas a los mismos, planos y demás documentación técnica complementaria a la que figure en la oferta presentada, necesarios para una completa definición del equipo y servicios contratados, de manera que permitan a la Propiedad:

- ✓ Tener pleno conocimiento del estado tensional a que estará sometido el equipo, en las distintas hipótesis de cálculo, garantías que ofrecen los materiales, las soldaduras y demás elementos incluidos en el suministro, así como de su funcionamiento, conservación y explotación.
- ✓ Ejercer la inspección de su fabricación y montaje.
- ✓ Estudiar y proyectar todos los trabajos afines que no incumben al Adjudicatario.

Todos los documentos facilitados por el Adjudicatario, así como leyendas y acotaciones, deberán estar escritas en español. La Propiedad podría aceptar documentos escritos en francés o inglés, reservándose el derecho a exigir traducciones en español, que serán consideradas como los únicos documentos válidos.

La Propiedad comunicará al Adjudicatario, en el plazo que se señala en el programa general de trabajos, la aprobación o reparos a los documentos, entendiéndose que éstos están aprobados si en el plazo referido no se hubiese hecho indicación al respecto.

Los documentos sobre los que la Propiedad hiciese observaciones dentro del plazo indicado, serán revisados por el Adjudicatario y nuevamente sometidos a la aprobación de la Propiedad dentro del plazo establecido en el programa general de trabajos. Si ésta no pudiera aprobarlos, convocaría una reunión para su discusión y resolución en el plazo de ocho días.

El Adjudicatario remitirá la Propiedad, por quintuplicado, los ejemplares indicados en estas normas de cada uno de los documentos aprobados, en el plazo de quince días a partir de la fecha de aprobación.

Los documentos aprobados no podrán ser modificados sin autorización escrita de la Propiedad.

La Aprobación de dibujos, notas de cálculo u otros documentos por parte de la Propiedad, no limita la responsabilidad del Adjudicatario, que se mantiene total.

Todos los documentos y dibujos recibidos por la Propiedad como parte del suministro, serán tratados por ésta como de su propiedad a todos los efectos.

Toda la documentación y dibujos enviados por la Propiedad al Adjudicatario para la ejecución del suministro son de propiedad de aquélla, no pudiendo el Adjudicatario comunicar a terceros o publicar sus reproducciones sin autorización escrita de la Propiedad.

El adjudicatario entregará un mínimo de tres copias de los Manuales de Instrucciones de los equipos suministrados. El contenido del Manual de Instrucciones será como mínimo el siguiente:

- I. Descripción del equipo.
- II. Características nominales de diseño y de prueba.
- III. Composición y características de los materiales.
- IV. Principios de la operación.
- V. Instrucciones de la operación.
- VI. Gradientes máximos, limitaciones y condiciones de funcionamiento en condiciones distintas de las nominales. Puntos de tarado.
- VII. Lista de componentes o de despieces, con números de identificación, dibujos de referencia, nombre y características de la pieza (dimensiones, materiales, etc.).
- VIII. Instrucciones de recepción, almacenamiento, manejo y desembalaje del equipo.
- IX. Instrucciones de montaje y desmontaje. Tolerancias.
- X. Instrucciones de mantenimiento.
- XI. Pruebas y controles periódicos.
- XII. Lista de repuestos.

1.6 Seguridad y accidentes de trabajo

El Adjudicatario queda obligado al cumplimiento de la normativa referente al estudio de Seguridad e Higiene en el Trabajo vigente y, en especial, a todo lo que se contempla en la ley 31/1995 (B.O.E. 10.11.1995) y sus modificaciones Ley 50/1998, ley 39/1999, ley 54/2003

Todos cuantos aparatos, maquinaria, herramientas y medios auxiliares emplee el Adjudicatario en la ejecución de las obras deberán reunir las máximas condiciones de seguridad y resistencia, así como cumplir con todas las normas oficiales dictadas al efecto.

El personal del Adjudicatario está obligado a utilizar todos los dispositivos y medios de protección personales necesarios para eliminar o reducir los riesgos profesionales, pudiendo el Ingeniero Director suspender los trabajos si estima que el personal está expuesto a peligros no corregibles.

El Ingeniero Director podrá exigir al Adjudicatario, ordenándolo por escrito, el cese de la obra de cualquier trabajador que, por imprudencia temeraria, pudiese provocar accidentes que hiciesen peligrar su propia integridad física o la de alguno de los demás empleados u obreros.

Toda la responsabilidad en los accidentes que pudieran ocurrir por el empleo de materiales defectuosos, por imprudencias o por el incumplimiento de lo anteriormente citado, recaerá exclusivamente en el Adjudicatario. Serán también de su exclusiva cuenta las multas en las que incurra por contravenir las disposiciones oficiales, así como los daños y desperfectos ocasionados a terceros en sus personas, bienes o haciendas.

El Adjudicatario queda en libertad de ejecutar los andamiajes que estime convenientes, siempre dentro de las normas de seguridad para el personal que señale en cada momento las Leyes o Reglamentos de Seguridad e Higiene o Accidentes de Trabajo.

El Ingeniero Director podrá exigir al Adjudicatario en cualquier momento, antes o después del comienzo de los trabajos, que presente los documentos que acrediten el haber formalizado los regímenes de la Seguridad Social en la forma legalmente establecida.

2 CALIDAD DE LOS MATERIALES

2.1 Materiales en general

Todas las materias primas suministradas por el Adjudicatario deberán reunir las condiciones expresadas en la Memoria, Pliego de Condiciones Particulares, Planos y Presupuesto, siendo de primera calidad de no expresarse nada en concreto al respecto.

Deben presentarse previamente muestras para su aprobación y reconocimiento por el Ingeniero Director o, en su defecto, por el Subdirector de la Obra. Sin su expresa aprobación no se podrá proceder a su colocación o empleo, pudiéndose obligar a la retirada del material no aprobado y colocado en la obra por parte del Adjudicatario, de no tenerse procedido como se indica.

El Adjudicatario, a su coste, transportará y colocará los materiales no utilizables, agrupándolos ordenadamente y en el sitio de la obra que, por no causar perjuicios a la marcha de los trabajos, se le indique. Los materiales procedentes de las excavaciones, derrumbes, etc., que no sean utilizables en la obra, se retirarán de ésta o se llevarán a vertederos.

Si aún así fuesen advertidas faltas en un material aprobado y colocado, podría ser retirado a cuenta del Adjudicatario.

2.2 Aceros

El Adjudicatario indicará las características mecánicas de los aceros empleados, con arreglo a los siguientes elementos:

- ✓ Piezas de acero moldeado.
- ✓ Estructuras de acero laminado.

2.3 Resto de materiales

Para el resto de los materiales empleados en la fabricación del suministro, se indicarán las características mecánicas, así como la composición química de los mismos.

3 NORMAS DE CÁLCULO

3.1 Normativa

Serán de aplicación las normas DIN u otras de rango similar vigentes sobre bases de cálculo para construcciones hidráulicas de acero.

El Adjudicatario indicará las tensiones de trabajo, simples y compuestas a que quedan sometidos los diferentes materiales que constituyen las estructuras. Asimismo, se indicarán las siguientes tensiones máximas de trabajo o tensiones base para el cálculo:

- ✓ Tensión admisible de tracción o compresión, previa comprobación del pandeo.
- ✓ Tensiones admisibles a esfuerzos constantes.
- ✓ Tensión de comparación.

La tensión base o máxima de trabajo es un límite absoluto que no deberá ser sobrepasado ni siquiera en el caso de piezas sometidas a choques, esfuerzos dinámicos, fatigas locales o alternadas, vibración, oxidaciones, etc.

Se indicarán asimismo las cargas máximas transmitidas al hormigón por las piezas fijas, así como las correspondientes a los órganos de maniobra.

Los esfuerzos de compresión en el hormigón se atenderán a lo especificado en las normas DIN y no superarán, en ningún caso, la carga de rotura según se define en la norma EH vigente.

Las conducciones blindadas y los revestimientos se dimensionarán para los estados de carga más desfavorables, sin tener en cuenta la colaboración del hormigón que las engloba.

El adjudicatario facilitará los cálculos completos de los elementos importantes del suministro.

El Adjudicatario indicará los coeficientes de seguridad de elementos, tales como cilindros y vástagos de servomotores, órganos mecánicos de cabestrantes, cadenas, cables, etc.

4 DISPOSICIONES GENERALES DE LAS OBRAS

4.1 Replanteo de la obra

El Ingeniero Director, una vez que el Adjudicatario esté en posesión del Proyecto y antes del comienzo de las obras, deberá realizar el replanteo de la misma, con especial atención en los puntos singulares. Se levantará, por duplicado, un Acta de Replanteo firmada por el Ingeniero Director y el representante del Adjudicatario.

Todas las operaciones que se necesitan para el replanteo serán efectuadas por y a cuenta del Adjudicatario, no teniendo por ese concepto derecho a reclamación de ninguna clase. Asimismo, está obligado a suministrar a su cargo a la Propiedad los medios y aparatos que la Dirección de Obra estime necesarios para llevar a cabo los replanteos de cualquier tipo.

4.2 Plazos de ejecución

Los plazos de ejecución, tanto locales como parciales, señalados en el contrato, empezarán a contar a partir de la fecha de replanteo de las obras o desde la notificación por parte de la Propiedad de la autorización para el comienzo de éstas. El Adjudicatario estará obligado a cumplir dichos plazos, que serán improrrogables. No obstante, los plazos podrán ser objeto de aplazamiento, cuando las modificaciones solicitadas por el Ingeniero Director, debidamente aprobadas por la Propiedad, influyan realmente en los plazos señalados en el contrato.

Si por causas ajenas por completo al Adjudicatario no fuese posible comenzar los trabajos en la fecha prevista o tuviesen que ser suspendidos una vez iniciados, el Ingeniero Director concederá una prórroga cuya duración será la estrictamente necesaria.

4.3 Mano de obra

El personal que, como encargado, capataz, oficial, ayudante o peón, tenga el Adjudicatario realizando unidades de obra, debe ser cualificado y responsable, al igual que todo el personal dependiente de los Sub-adjudicatarios, que en todo momento acatarán las órdenes dictadas por la Dirección de Obra.

El Adjudicatario deberá tener siempre en la obra el número de operarios proporcionado a la extensión y clase de trabajos que esté ejecutando.

Los operarios serán de aptitud reconocida y experimentados en sus respectivos oficios, y constantemente ha de haber en la obra una persona responsable y encargada del conjunto.

No se permitirá trabajar a ningún obrero que no se encuentre debidamente capacitado o en quien se note falta de costumbre de andar en los andamios, y si por omisión o inobservancia de las precauciones ocurriese una desgracia, serán de cuenta y riesgo del Adjudicatario las responsabilidades que tuvieran lugar.

La Dirección de la Obra podrá prohibir la permanencia en obra de determinado personal del Adjudicatario, por motivo de faltas de obediencia y respeto, o a causa de actos que comprometan o perturben, a juicio de la misma, la marcha de los trabajos. El Adjudicatario podrá recurrir si entendiéndose que no hay motivo fundado para dicha prohibición.

La totalidad del personal empleado por el Adjudicatario y Subadjudicatario en la ejecución de las obras deberá estar debidamente afiliado al régimen general de la Seguridad Social, estando obligado a mantener en la oficina de obra los justificantes correspondientes, TC1 y TC2, que justifiquen tal situación. Además, el Adjudicatario está obligado al cumplimiento de lo establecido en la Ley sobre el Contrato de Trabajo y en las Reglamentaciones de Trabajo vigentes o que se dicten durante la realización de las obras.

El Adjudicatario habilitará en la obra una oficina en la que tendrá siempre una copia de todos los documentos del proyecto que le hayan sido facilitados por el Ingeniero Director de Obra, así como los restantes documentos, equipos y materiales que estipulen.

El Adjudicatario podrá sacar a expensas copias de los documentos del Proyecto de Contrata, cuyos originales les serán facilitados por el Ingeniero Director, el cual autorizará con su firma las copias si el Adjudicatario así lo desea.

El Adjudicatario, por sí mismo o por medio de sus facultativos, representantes o encargados, estará en la obra durante la jornada legal de trabajo y acompañará al Ingeniero Director o personas por él delegadas en las visitas que hagan a la obra, poniéndose a su disposición para la práctica de los reconocimientos que se consideren necesarios y suministrándole los datos y medios precisos para la ejecución y aprobación de mediciones, comprobaciones y liquidaciones.

El Adjudicatario o su delegado vigilarán los trabajos de colocación de los andamios y cimbras y demás medios auxiliares. Comprobará que los materiales fabricados tales como viguetas, cargaderos, etc., del material que sea, llevan la garantía de fabricación, siendo el Adjudicatario el responsable de los accidentes que

ocurran por incumplimiento de esta disposición o por no tomar las debidas precauciones.

Antes del inicio de las obras se procederá al replanteo general de las mismas, juntamente con el Director y Subdirector de Obra, realizándose el correspondiente Acta de Replanteo, que quedará plasmado en el Libro de Órdenes, considerándose dicha fecha como la del inicio de obra.

Todas las operaciones y los medios auxiliares necesarios para los replanteos serán de la exclusiva cuenta del Adjudicatario, pudiendo ser vigilados, comprobados y anulados por la Dirección Técnica.

El Adjudicatario no podrá reclamar ni percibir indemnización por sustracción, pérdidas o averías u otros prejuicios acaecidos durante la obra. Sin embargo, será responsable de las pérdidas de material que se le entregase a su custodia, descontándosele un importe de las cantidades a percibir. Será igualmente responsable de cualquier daño en las propiedades colindantes, estando obligado a repararlas y dejarlas en su estado primitivo.

4.4 Reformas en el proyecto

Si durante el transcurso de las obras el Ingeniero Director estimase conveniente introducir modificaciones en el Proyecto, el Adjudicatario estará obligado a realizarlas, siempre y cuando la cantidad de las obras nuevamente proyectadas no aumentase ni disminuyese en proporción el Pliego de Condiciones.

No se considerarán mejoras y variaciones del Proyecto más que aquéllas que hayan sido ordenadas expresamente por escrito por el Ingeniero Director.

Si antes de comenzar las obras o durante su construcción la entidad propietaria, de acuerdo con el Ingeniero Director, resolviese ejecutar por sí parte de las obras que comprende la contrata o acordase introducir en el proyecto modificaciones que impongan aumento o reducción, y aún supresión de las cantidades marcadas en el presupuesto, serán obligatorias para el Adjudicatario estas disposiciones, sin que

tenga derecho en caso de supresión de obra a reclamar ninguna indemnización con el pretexto de pretendidos beneficios que hubiera podido obtener en la parte reducida o suprimida.

Aún cuando las reformas hicieran variar los trazados, si se le informan al Adjudicatario con la debida anticipación, no podrá exigir indemnización alguna bajo ningún concepto.

Tendrá derecho, en caso de modificación, a que se le prorrogue prudencialmente, y a juicio del Ingeniero Director de la Obra, el plazo para la terminación de las obras.

4.5 Contradicciones, omisiones o errores en los documentos

En el caso de contradicción entre los Planos y el Pliego de Condiciones, prevalecerá lo prescrito en éste último. Lo mencionado en el Pliego de Condiciones y omitido en los Planos, o viceversa, habrá de ser aceptado como si se incluyese en ambos documentos, siempre que, a juicio del Ingeniero Director, quede suficientemente definida la unidad de obra correspondiente y ésta tenga precio en el contrato.

Los diversos capítulos del presente Pliego de Condiciones son complementarios entre sí, entendiéndose que las prescripciones que contenga uno de ellos y afecte a otros obligan como si apareciesen en todos. Las contradicciones o dudas entre sus especificaciones se resolverán por la interpretación que razonadamente haga el Ingeniero Director.

En todo caso, las contradicciones, omisiones o errores que se adviertan en estos documentos, tanto por el Ingeniero Director como por el Adjudicatario, deberán reflejarse preceptivamente en el Acta de Replanteo.

4.6 Trabajos defectuosos o no autorizados

El Adjudicatario debe emplear materiales que cumplan las condiciones exigidas en el Pliego de Condiciones Particular y realizar todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con dicho documento.

Como consecuencia de lo anteriormente dicho, cuando el Ingeniero Director o su representante en la obra advierta vicios o defectos en los trabajos efectuados o que los materiales empleados o los aparatos colocados no reúnan las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos o finalizados éstos y antes de verificarse la recepción definitiva de la obra, podrá disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas según el contrato, y todo ello a expensas del Adjudicatario. Si ésta no estimase justa la reclusión y se negase a la demolición y reconstrucción ordenada, se procederá con lo dispuesto a continuación:

- ✓ Cuando los materiales o aparatos no fuesen de la calidad requerida o no estuviesen perfectamente preparados, el Ingeniero Director dará orden al Adjudicatario para que los reemplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas por los Pliegos o a falta de éstos, a las órdenes del Ingeniero Director.

- ✓ El Ingeniero Director podrá, si las circunstancias o el estado de la obra lo aconseja, permitir el empleo de aquellos materiales defectuosos que le parezcan, o aceptar o imponer materiales de calidad superior a la indicada si no le fuese posible al Adjudicatario suministrar los de la calidad deseada en ellos, descontándose en el primer caso la diferencia de precio del material requerido al defectuoso empleado, y no teniendo derecho el Adjudicatario a indemnización alguna en el segundo.

El Adjudicatario es el único responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que éstos pudieran tener por su mala ejecución y por la deficiencia de la calidad de los materiales empleados o aparatos colocados, sin que pueda servir de excusa ni le otorgue derecho alguno la circunstancia de que el Ingeniero Director o sus subalternos no le hayan llamado la atención sobre el

particular, ni tampoco el hecho de que hayan sido valoradas en las certificaciones y participaciones de obra.

4.7 Suspensión de las obras

Cuando la entidad propietaria desee suspender la ejecución de las obras, tendrá que avisar al Adjudicatario con un mes de antelación, y el Adjudicatario tendrá que suspender los trabajos sin derecho a indemnización, siempre que se le abone el importe de la obra ejecutada y el valor de los materiales acumulados a pie de obra al precio corriente en la localidad. Se hará lo mismo en caso de rescisión justificada.

Si la suspensión de las obras fuese motivada por el Adjudicatario, el Propietario se reserva el derecho a la rescisión del contrato, abonando al Adjudicatario sólo la obra ejecutada, con pérdida de la garantía como indemnización de perjuicios generados en la entidad propietaria, quedando siempre el Adjudicatario obligado a responder de los perjuicios superiores a esta entidad.

En caso de muerte o de quiebra del Adjudicatario, quedará rescindida la Contrata a no ser que los herederos o los síndicos de la quiebra ofrezcan llevarla a cabo bajo las condiciones estipuladas en la misma. La Propiedad puede admitir o desechar el ofrecimiento, sin que en este último caso tengan aquéllos derecho a indemnización alguna.

Tanto en los casos de rescisión como en los que legalmente se pudiesen presentar, las herramientas y demás elementos de trabajo que sean de pertenencia del Adjudicatario, tendrá éste obligación de recogerlos en un plazo de ocho días; de no ser así se entiende que los abandona a favor de la obra.

Son causas de rescisión de obras las siguientes:

- ✓ El no ejecutar las obras con arreglo al proyecto o modificaciones indicadas.

- ✓ El empleo deficiente de los materiales o su mala colocación en obra, que obligue insistentemente a demoler la misma, o a valorar obra defectuosa.
- ✓ El que las obras no se ejecuten al ritmo previsto.
- ✓ Incapacidad del personal empleado, tanto técnico como de obra.
- ✓ Quiebra o suspensión de pagos por el Adjudicatario.
- ✓ La suspensión de la obra comenzada, siempre que el pago exceda a seis meses.
- ✓ El no dar comienzo la Contrata a los trabajos dentro del plazo señalado en las condiciones del proyecto o contrato.
- ✓ El incumplimiento de las condiciones del contrato, cuando indique descuido o mala fe, con perjuicios de los intereses de las obras.
- ✓ La terminación del plazo de ejecución de las obras sin haberse llegado a ellas.
- ✓ El abandono de la obra sin causa justificada.
- ✓ Muerte o incapacitación del Adjudicatario.
- ✓ Alteraciones del contrato, de forma que supongan modificaciones del proyecto o de las unidades de obra en un 25% como mínimo del importe de aquél y en un 50% de las unidades modificadas.
- ✓ La suspensión de la obra comenzada y en todo caso siempre que por causas ajenas a la contrata no se dé comienzo a la obra adjudicada dentro del plazo de tres meses a partir de la adjudicación.

- ✓ Por toda causa de fuerza mayor que obligue a suspender las obras indefinidamente.

En los diez primeros casos, la fianza quedará a beneficio de la Propiedad. En todos los casos, la Propiedad se reserva el derecho de continuar las obras, bien por sí misma, bien por las personas o entidades que estime conveniente.

4.8 Seguros

El Adjudicatario está obligado, después de la comprobación del replanteo y antes del comienzo de la obra, a facilitar a la Dirección la documentación que acredite haber suscrito, además de las correspondientes afiliaciones a la Seguridad Social, las siguientes pólizas de seguro:

- ✓ Seguro contra daños a terceros que se deriven de la ejecución del proyecto.
- ✓ Seguro de Accidentes de Trabajo en la Mutuality Laboral correspondiente.
- ✓ Seguro de Automóviles para todos aquellos vehículos del Adjudicatario que tengan acceso a la obra.
- ✓ Seguro para toda maquinaria y equipo que el Adjudicatario utilice en el trabajo.
- ✓ Seguro de incendios para las obras, en Compañías de reconocida solvencia, inscrita en el Ministerio de Hacienda en virtud de la vigente Ley de Seguros.

5 ENSAYOS, PRUEBAS Y PROTECCIONES

5.1 Ensayos en taller

Todas las uniones soldadas serán inspeccionadas mediante control radioscópico de las soldaduras, que se harán en presencia de representantes de la Propiedad y del Adjudicatario teniendo en cuenta los plazos fijados.

Se ensayarán mecánicamente varias probetas de soldadura realizadas con materiales y operarios que hayan de intervenir en la obra.

Los cilindros de los servomotores y demás órganos que contengan aceite a presión, como son los cuerpos de las bombas de aceite, y sus correspondientes válvulas, serán sometidas en taller a una presión de ensayo igual a la de servicio aumentada en un cincuenta por ciento. Los esfuerzos durante el ensayo no deberán, en ningún caso, sobrepasar el cuarenta por ciento de la carga de rotura, ni el ochenta por ciento del límite elástico. Durante dicho ensayo no deberán producirse deformaciones apreciables ni fugas ni filtración alguna.

Para los grupos de motobombas se realizarán todas las pruebas necesarias según normas para determinar las curvas características. Para el trazado de las curvas de altura manométrica, potencia y rendimiento, se considerarán al menos cinco puntos, desde el caudal cero al caudal máximo nominal.

5.2 Presentación en taller

Con el fin de prever las posibles dificultades que pudieran presentarse en obra en el montaje definitivo de los elementos objeto del suministro, la Propiedad puede exigir que se realice en taller una presentación completa de los distintos elementos, comprobándose cotas, altura, planicidad, etc.

El Adjudicatario indicará claramente en su oferta la repercusión económica que represente la realización de estos trabajos de presentación en taller del suministro contratado.

5.3 Protección contra la corrosión

El Adjudicatario deberá proponer la protección más aconsejable, de acuerdo con su experiencia, para su aprobación por la Propiedad. Esta protección deberá, de una manera general, aplicarse a todas las superficies en contacto con el agua y la intemperie, de todos los elementos fabricados con materiales oxidables y comprenderá: limpieza de chorro de arena, metalización de zinc, según las normas AENOR A 91-201, con una capa de zinc de doce centésimas de milímetro (0,12 mm) de espesor, seguida de pintura, con tres manos como mínimo, de características convenientemente justificadas. No obstante, la Propiedad se reserva el derecho a ejecutar total o parcialmente la protección contra la corrosión, en todo o en parte del suministro, por cuyo motivo el Adjudicatario detallará en el presupuesto el importe de estas operaciones que podrán ser deducidas del costo total en el caso de que la Propiedad los ejecutara directamente.

Las partes del suministro que estén mecanizadas, se procederá a su desengrasado y se protegerán con una pintura vinílica incolora del tipo arrancable.

El sistema de protección con pinturas de las diferentes superficies metálicas tendrá que responder a las condiciones ambientales de la zona geográfica del almacenamiento y a la naturaleza de los productos manejados y condiciones de funcionamiento. El tiempo transcurrido desde el tratamiento de la superficie del metal y la aplicación de la pintura no puede ser superior a veinticuatro horas.

6 FABRICACIÓN, MONTAJE, RECEPCIÓN Y GARANTÍAS

6.1 Inspección fabril

La Propiedad se reserva el derecho a efectuar directamente o por medio de una Entidad de su elección, la inspección de la fabricación de los equipos con vistas al cumplimiento de los plazos, a la calidad de los materiales y a las técnicas empleadas, tanto en las fábricas o instalaciones del Adjudicatario, como en la de sus suministradores.

A efectos de la cláusula anterior, el Adjudicatario se ve obligado a asegurar en cualquier momento a los representantes de la Propiedad, debidamente acreditados, el libre acceso a las fábricas o instalaciones, así como proporcionar todas las facilidades para que estos puedan cumplir con su misión.

El Adjudicatario deberá informar a la Propiedad, en tiempo útil, de la fecha fijada para la realización de los ensayos previstos y de recepción de materias primas, así como de la realización de las operaciones más importantes de fabricación o de montaje en banco, de manera que la Propiedad pueda enviar a sus representantes a presenciar dichos ensayos u operaciones, si lo estimase necesario.

Independientemente de la presencia o no de los representantes de la Propiedad, el Adjudicatario deberá remitir a ésta, por triplicado, memorias de todos los ensayos realizados.

6.2 Montaje e inspección

Se deberá presentar para su aprobación una relación nominal del personal técnico que se ocupará de la ejecución de los montajes, indicando las funciones a realizar por cada uno de ellos y acreditando su capacidad técnica para el desarrollo de los mismos.

En caso de que, a juicio de la Propiedad, el personal técnico designado por el Adjudicatario sea insuficiente, éste se verá obligado a completar su organización con el número de técnicos necesarios, según el criterio de la Propiedad.

La Propiedad se reserva el derecho de recusar, en caso de no satisfacerle el desarrollo de las operaciones de montaje, tanto al representante del Adjudicatario como a cualquier otro miembro de su organización en la obra y éste se obliga a sustituirlo en un plazo de treinta días por otro de igual categoría.

El Adjudicatario podrá cubrir con Compañías de Seguros los riesgos relativos a los materiales y equipos en curso de montaje. Además, el citado seguro será ampliado

para cubrir los daños que cause a la Propiedad o a terceros, durante y por causa de las operaciones de montaje.

La Propiedad podrá señalar la obligatoriedad del seguro de materiales y equipos en curso de montaje. En este caso, el seguro será complementario del establecido para el transporte y deberá ser válido hasta el inicio del servicio industrial.

El personal de la inspección de la Propiedad podrá ordenar la suspensión de los trabajos que no estuviesen ejecutados de acuerdo con las condiciones y especificaciones contractuales. La orden de suspensión será confirmada por escrito.

Siempre que fuese necesario enviar una pieza o equipo a fábrica como consecuencia de un error o avería, los gastos de transporte, seguros y otros, correrán por cuenta del Adjudicatario.

Los gastos, encargos y cualquier formalidad necesaria para la importación temporal o reexportación de herramientas, instrumentos o material a utilizar en la ejecución del suministro, serán a cargo del Adjudicatario.

La Propiedad fiscalizará directamente, a través de sus representantes, los trabajos de montaje. A este efecto, estará asegurado al personal de inspección de la Propiedad el libre acceso a cualquier hora a las oficinas de obra, almacenes u otros locales de trabajo del Adjudicatario, que está en la obligación de facilitarle cuantos datos y aclaraciones sean precisas.

6.3 Controles

El Adjudicatario se asegurará, por unos controles apropiados, de la buena calidad del material entregado. Los resultados de estos controles serán sometidos a la aprobación de la Propiedad quien podrá exigir, si lo cree necesario, la realización de controles complementarios.

6.4 Prueba hidráulica en taller

La Propiedad podrá exigir la realización de una prueba hidráulica en taller. El Adjudicatario deberá proveerse de los fondos de cierre para poder realizarla. La presión de prueba, que se determinará en cada caso, no será inferior a 1,5 veces la presión máxima de diseño.

Si las pruebas revelasen defectos inadmisibles, tales como fugas y deformaciones locales, el Adjudicatario someterá a la aprobación de la Propiedad el procedimiento de reparación y una vez reparada la pieza se repetirá la prueba hidráulica.

6.5 Acta fin de montaje

Cuando el Adjudicatario considere que los equipos están aptos para entrar en servicio, lo comunicará por escrito a la Propiedad y se procederá en conjunto a una revisión general del montaje, levantándose, si procede, un acta final de montaje, firmada por representantes cualificados de ambas partes.

6.6 Ajustes, ensayos y servicio experimental

Finalizado el montaje serán efectuados ajustes, ensayos y puestas en servicio experimentales de acuerdo con las condiciones establecidas.

La instrucción de adiestramiento del personal de la Propiedad por parte del Adjudicatario será efectuada en este período.

Salvo que se establezca otro acuerdo, la transferencia del equipo y materiales objeto de suministro, tendrá lugar en la fecha de su entrada en servicio industrial; sin embargo, la transferencia de posibles equipos importados por la Propiedad se hará con la entrega del conocimiento de embarque, carta de porte o documento similar, si bien el riesgo y la garantía serán por cuenta del Adjudicatario hasta la entrada de los equipos en servicio industrial.

6.7 Recepción provisional

Finalizado el servicio experimental y simultáneamente al comienzo del servicio industrial, será levantada un Acta de Recepción Provisional signada por representantes cualificados de ambas partes, previos los ensayos de recepción correspondientes. Si por motivos no imputables al Adjudicatario los ensayos de recepción no pudiesen ser efectuados, la recepción provisional será considerada como realizada ciento veinte días después de la fecha en que las pruebas debieron haber comenzado. Sin embargo, el Adjudicatario está obligado a realizar dichos ensayos antes de la fecha de recepción definitiva.

Se levantará un Acta de Recepción de Obras por triplicado, por parte de la Dirección Técnica, en la que se hará constar las deficiencias que en su caso existiesen en aquella y el plazo para su subsanación.

Si las obras se encuentran en buen estado y han sido ejecutadas con arreglo a las condiciones establecidas, se darán por recibidas, comenzando a correr en dicha fecha el plazo de garantía establecido en el Contrato que, como mínimo, será de tres meses.

Si las obras no se hallasen en estado de ser recibidas, se hará constar en el Acta y se especificarán en la misma las instrucciones precisas y detalladas que se deben señalar al Adjudicatario y/o Proveedor para remediar los defectos observados, fijando un plazo para subsanarlos, después del cual se realizará un nuevo reconocimiento en idénticas condiciones a fin de proceder de nuevo a la recepción provisional de la obra. Los trabajos de recepción corren de cuenta del Adjudicatario de forma que, de no cumplirse las prescripciones, el contrato podrá considerarse como rescindido, con la pérdida de la fianza.

6.8 Periodo de garantía

La fecha del Acta de Recepción Provisional será el comienzo del período de garantía. El Adjudicatario podrá mantener todo o parte de su personal especializado en la obra, si bien tomará las medidas necesarias para su presencia, siempre que la

Propiedad lo exija, o bien como consecuencia de anomalías de funcionamiento o averías.

La duración del período de garantía será establecida entre la Propiedad y el Adjudicatario en la formulación del contrato y será contando a partir de la fecha de firma del acta de recepción provisional.

Durante el período de garantía, el Adjudicatario sustituirá toda o cualquier pieza o equipo defectuoso, debido a la mala concepción, defecto o calidad inadecuada de las materias primas utilizadas, defecto de fabricación o error de montaje. Todas estas sustituciones y posibles trabajos de construcción civil deberán ser hechas lo más rápidamente posible, sin gasto alguno por parte de la Propiedad.

No eximirá al Adjudicatario de responsabilidad alguna el hecho de que el Ingeniero Director o sus subalternos hayan examinado las obras durante su construcción, reconocido sus materiales o hecha la valoración en las relaciones parciales. En consecuencia, de observarse vicios o defectos antes de la recepción definitiva se podrá disponer la demolición o reconstrucción de las partes defectuosas.

Durante el período de garantía, todo o cualquier equipo, componente o pieza a sustituir por otro u otros, en razón de esa misma garantía, tendrá a partir de la fecha de entrada en servicio un período de garantía igual a la del equipo o a la de la pieza que sustituya.

Si, como consecuencia de defectos o accidentes imputables al Adjudicatario, el equipo no pudiese funcionar en parte o en todo el período de garantía, la duración del período de paro será añadida al plazo de garantía.

6.9 Recepción definitiva

Finalizado el período de garantía se efectuará un examen general del equipo y, en caso de resultar éste de conformidad, se procederá a la recepción definitiva, levantándose acta que será firmada por representantes cualificados de la Propiedad y del Adjudicatario.

Hasta que el representante de la Propiedad no haya aprobado la recepción definitiva de los trabajos, el Adjudicatario se hará cargo de roturas, robos de material, averías, etc., cualquiera que fuese el motivo, aún cuando el desperfecto se haya producido en una operación ordenada por la Propiedad con el conocimiento del Adjudicatario.

Si son necesarias pruebas de funcionamiento, capacidad de producción, etc., para la recepción definitiva del algún elemento o del conjunto, el Adjudicatario dirigirá dichas pruebas y cargará con los gastos de todos los medios y creación de condiciones, salvo si todos o parte de tales gastos fueron incluidos en la adjudicación como obligaciones de la Propiedad.

Previamente a la recepción definitiva serán resueltas todas las reclamaciones formuladas y habrán transcurrido todos los plazos de garantía de los equipos, componentes o piezas que hayan sido sustituidas.

Podrán hacerse recepciones definitivas parciales en los casos en los que se considere oportuna esta decisión.

Efectuada la recepción definitiva de todo el suministro cesa la garantía establecida.

7 ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE, SEGUROS Y ADUANAS

7.1 Almacenamiento

La Propiedad indicará la capacidad de los almacenes o explanadas de acopio de que dispondrá el Adjudicatario en Obra, así como la fecha en que se podrá disponer de ellas.

Queda terminantemente prohibido, salvo autorización escrita del Ingeniero Director, efectuar acopios de materiales, cualquiera que sea su naturaleza, en zonas que dificulten el adecuado transcurso de los trabajos.

Los materiales se almacenarán de forma tal que se asegure la preservación de su calidad para su utilización en obra, requisito que deberá ser comprobado en el momento de dicha utilización.

Las superficies empleadas como zonas de acopio deberán acondicionarse una vez finalizado el uso de los materiales en ellas acumulados, de forma que puedan recuperar su aspecto original.

Serán a cargo del Adjudicatario todos los gastos de almacenamiento, manutención y guarda.

7.2 Transporte

Salvo indicación en contra por parte de la Propiedad, compete al Adjudicatario transportar todos los materiales y equipos objeto del suministro desde sus fábricas a las instalaciones de la obra, colocándolos en buenas condiciones de manejabilidad, conservación y seguridad en los lugares a ese fin destinados por la Propiedad.

El Adjudicatario deberá prever que ninguna expedición sea hecha desde sus fábricas o desde las de sus suministradores sin aprobación previa de la Propiedad, teniendo en cuenta que:

- ✓ Se respetarán las fechas previstas en el programa general de trabajos.
- ✓ El escalonamiento de envíos en las fechas más favorables a la buena marcha de los trabajos y a la óptima utilización de las superficies reservadas a parques.
- ✓ La eventual inspección de los embalajes y otras condiciones de transporte.
- ✓ La eventual colaboración de la Propiedad en la resolución de los problemas de transporte que puedan resultar de volúmenes o pesos

excesivos, en especial cuando su resolución dependa de Organismos Oficiales del Estado.

La aceptación por parte de la Propiedad de los embalajes, acondicionamiento y medio de transporte no liberan la responsabilidad del Adjudicatario en lo que respecta al transporte, así como al funcionamiento y duración de los materiales y equipos expedidos.

Los embalajes de los materiales y equipos entregados en las instalaciones de la obra pasarán a ser dominio de la Propiedad después de su utilización.

El Adjudicatario deberá prever que la Propiedad reciba para cada expedición, con antelación suficiente, una lista de embalajes con indicación de los respectivos contenidos, pesos, dimensiones y marcas, permitiendo una identificación fácil y correcta.

7.3 Seguros

El seguro de materiales y equipos en tránsito será efectuado por el Adjudicatario, a no ser que la Propiedad haga constar expresamente que hará el seguro por su cuenta.

7.4 Aduanas

Los trámites aduaneros de los equipos fabricados en el extranjero y de los materiales (partes, piezas o accesorios) destinados a ser incorporados a los equipos fabricados en España, serán hechos por el Adjudicatario en nombre de la Propiedad.

En el caso de que el Adjudicatario no pudiese llevar a cabo los trámites citados en la anterior cláusula, la Propiedad llevará a cabo la tramitación y despacho en aduanas de los materiales importados, por cuenta del Adjudicatario.

El Adjudicatario obtendrá a su debido tiempo la documentación necesaria para la importación y para el paso en tránsito por un tercer país, en caso de que fuese necesario.

El Adjudicatario deberá comunicar por escrito a la Propiedad, por cada fabricante extranjero y en relación con el equipo a importar, los siguientes elementos: designación, peso líquido, valor, procedencia y moneda de pago.

El Adjudicatario deberá obtener a su debido tiempo la documentación necesaria para que los trámites aduaneros se efectúen en las mejores condiciones, independientemente de que la Propiedad gestione, si procede, la exención de derechos de importación.

8 ORGANIZACIÓN DE LAS OBRAS

8.1 Dirección de las obras y representación del adjudicatario

La dirección del conjunto de las obras estará a cargo del personal técnico de la Propiedad. Se indicará en cada caso al Adjudicatario quién es el Ingeniero Encargado o Director Técnico de la Obra, cuyas principales funciones, que afectan fundamentalmente a las relaciones con el Adjudicatario, son:

- ✓ Exigir al Adjudicatario, directamente o a través del personal a sus órdenes, el cumplimiento de las condiciones contractuales.
- ✓ Garantizar la ejecución de las obras con estricta sujeción al proyecto aprobado, o modificaciones debidamente autorizadas, y el cumplimiento del programa de los trabajos.
- ✓ Definir aquellas condiciones técnicas que el presente Pliego de Condiciones deje a su decisión.
- ✓ Resolver todas las ecuaciones técnicas que surjan en cuanto a interpretación de planos, condiciones de materiales y de ejecución de

unidades de obra, siempre que no se modifiquen las condiciones del contrato.

- ✓ Estudiar las incidencias o problemas planteados en los trabajos que impidan el normal cumplimiento del contrato o aconsejen su modificación, tramitando en su caso las propuestas correspondientes.
- ✓ Proponer las actuaciones procedentes para obtener de los organismos oficiales y de los particulares los permisos y autorizaciones necesarios para la ejecución de las obras y ocupación de los bienes afectados por ellas, y resolver los problemas planteados por los servicios y servidumbres relacionados con las mismas.
- ✓ Asumir personalmente y bajo su responsabilidad, en casos de urgencia o gravedad, la dirección inmediata de determinadas operaciones o trabajos en curso, para lo cual el Adjudicatario deberá poner a su disposición el personal y material de la obra.
- ✓ Participar en las recepciones provisional y definitiva y redactar la liquidación de las obras, conforme a las normas legales establecidas.

El Adjudicatario estará obligado a prestar su colaboración al Ingeniero Director para el normal cumplimiento de las funciones a éste encomendadas.

Antes de iniciarse los trabajos, el Adjudicatario deberá indicar a la Propiedad el nombre de su representante al frente de los mismos, que actuará como Jefe de Montaje, tanto en los aspectos técnicos como económicos. Los poderes del Jefe de Montaje deben ser los suficientemente amplios para recibir y resolver en consecuencia las comunicaciones y órdenes de la Propiedad. En ningún caso constituirá motivo de excusa para el Adjudicatario la ausencia de su representante a pie de obra. Al mismo tiempo, deberá presentar para su aprobación, la relación nominal de personal técnico que se ocupará de la ejecución de los montajes, indicando las funciones a desarrollar por cada uno de ellos.

La Propiedad se reserva el derecho de recusar al Jefe de Montaje o a cualquier otro técnico destinado por el Adjudicatario en la obra durante el desarrollo de los trabajos, obligándose éste a sustituirlo en un plazo de treinta días por otro de igual categoría.

En caso de que, a juicio de la Propiedad, el personal técnico designado por el Adjudicatario sea insuficiente para la buena marcha de los trabajos, éste se obliga a completar su organización con el número de técnicos que fuera necesario según el criterio de la Dirección de Obra.

8.2 Terrenos necesarios para la ejecución de las obras

La propiedad indicará al adjudicatario los límites de los terrenos de su Propiedad dentro de los cuales puede montar sus instalaciones y dará acceso a los mismos. Todo esto estará indicado en los planos que se entreguen a los concursantes para el estudio de las ofertas.

Se supone en el Adjudicatario un conocimiento perfecto de la disposición de conjunto de los terrenos, de la importancia y situación de los trabajos objeto del contrato, de la naturaleza y estado de los terrenos, de los emplazamientos reservados para las obras, de los medios de acceso, así como de las condiciones climáticas de la región, especialmente aquéllas que pueden afectar a los trabajos.

La obligación de la propiedad en cuanto a entrega de los terrenos necesarios queda limitada a los que figuran y se reseñan en los planos que se entreguen a los concursantes con la petición de ofertas que, al mismo tiempo, definirán lo que se entiende por zona de montaje.

Si por conveniencias del Adjudicatario éste deseara disponer de otros terrenos distintos de los figurados y reseñados den los planos antes citados, será de su cargo su adquisición o la obtención de las autorizaciones pertinentes, debiendo el Adjudicatario someter previamente a la conformidad de la Propiedad las modalidades de adquisición o de obtención de la autorización respectiva.

El Adjudicatario será responsable de los daños que puede causar en las vías públicas y en los caminos de acceso si éstos son particulares o de la Propiedad. Se obliga también a cumplir todas las limitaciones y solicitar los permisos de transportes especiales, etc. En cualquier caso, el Adjudicatario responde de todos los perjuicios que, como consecuencia del contrato se puedan causar a terceras personas en bienes muebles, inmuebles, cosechas, etc. y son de su competencia las reclamaciones que puedan formularse con ocasión de dichos perjuicios.

8.3 Instalaciones auxiliares

En el caso de que la obra se construya en una zona en la que la Propiedad distribuya energía eléctrica, ésta facilitará al Adjudicatario la potencia necesaria para sus instalaciones y le indicará el precio que le cobrará por la energía consumida. La red de distribución de energía en las zonas de obra que será de cuenta del Adjudicatario, deberá estar constituida por cables aislados y no deberá interferir otros trabajos en marcha, de manera que su instalación deberá ser autorizada previamente por la Propiedad en el caso de estar ubicada en el recinto de la obra, y cumplirá todas las normas oficiales en vigor.

El abastecimiento de agua y de aire comprimido necesario para la obra será de cuenta del Adjudicatario y su instalación deberá cumplir las normas y reglamentos oficiales en vigor.

La Propiedad podrá facilitar, caso de disponer de los mismos, materiales y medios auxiliares en las condiciones que se establezcan.

Serán de cuenta y responsabilidad del Adjudicatario:

- ✓ Los medios y los materiales necesarios para construcción, conservación, desmontaje, demolición o retirada en el plazo que se le señale, de sus instalaciones en obra, tales como oficinas, almacenes, comedores, etc.

- ✓ Los medios para asegurar la vigilancia y conservación del material almacenado en obra o curso de montaje.
- ✓ Todas las herramientas o medios necesarios para la ejecución del montaje, tales como andamios, escaleras, diferenciales, etc., y materiales de consumo de corriente como electrodos, lubricantes, etc.
- ✓ Todos los ensayos de materias primas o componentes que se estimen necesarios en curso de montaje, sean efectuados en laboratorio de obra o foráneos.
- ✓ Las diligencias o gastos necesarios para la realización de las operaciones normales de inspección por parte de los organismos oficiales.

El Adjudicatario no podrá ampararse, con el fin de eludir las obligaciones del contrato, en las dificultades que puedan ser ocasionadas por la ejecución simultánea de otros trabajos o instalaciones confiadas por la Propiedad a otros contratistas o suministradores que intervengan en la realización del mismo proyecto.

El Adjudicatario no podrá reclamar si en el curso de los trabajos y para cumplimiento normal del contrato se viese precisado a aumentar la importancia de su material, en calidad o en cantidad, en relación con sus previsiones iniciales. De cada nueva aportación de maquinaria se formalizará una nota análoga a la que forma parte del contrato para la maquinaria y útiles aportados inicialmente, que se unirá como anexo al contrato.

Sin embargo, cuando el Adjudicatario se vea obligado a poner en servicio material suplementario para responder, bien a circunstancias imprevistas en el contrato o bien a causas de fuerza mayor debidamente comprobadas y, en cualquiera de ambos casos, reconocidas previamente por la Propiedad, la utilización de ese material será de abono por aplicación de precios complementarios establecidos de común acuerdo, conforme a las disposiciones que se fijan en este Pliego.

8.4 Relación entre la propiedad y los diversos contratistas

El Adjudicatario está obligado a suministrar, en cualquier momento, toda la información relativa a la ejecución del contrato que la Propiedad juzgue necesario tener conocimiento por razón de las posibles incidencias de los trabajos confiados al Adjudicatario, sobre los de otros contratistas o suministradores.

En ningún caso las peticiones de información dirigidas al Adjudicatario por la Propiedad supondrán una ingerencia de la Propiedad en la ejecución del contrato, ni entrañarán una participación de la Propiedad en la responsabilidad del Adjudicatario.

Las peticiones tendrán únicamente carácter informativo.

En todo caso, el Adjudicatario es el único responsable del ejercicio de la función que le es propia, en orden a las obligaciones del contrato.

Siempre que sea requerido, el Adjudicatario, o su representante, deberá presentarse en el domicilio de la Propiedad en la obra, con el fin de que no pueda invocarse su ausencia como causa de retraso o suspensión del cumplimiento de las órdenes de la Propiedad.

La coordinación de las actividades del Adjudicatario necesarias para la ejecución del suministro con la de otros contratistas de la Propiedad o con cualquier entidad ajena al contrato con quien hay necesidad de tratar es de la competencia de la Propiedad.

Siempre que el Adjudicatario establezca contacto con otros contratistas de la Propiedad para tratar de asuntos relativos a la buena ejecución del suministro, se obliga a enviar a la Propiedad copias de las comunicaciones y correspondencia producida; las decisiones tomadas durante tales contactos sólo tendrán efecto en relación con la Propiedad si ésta las aprobase por escrito.

Si como consecuencia de los anteriores contactos surgieran diferencias o dificultades, el Adjudicatario deberá pedir una reunión con los representantes de la

Propiedad, que las resolverán de acuerdo con los contratos establecidos con los contratantes interesados. Las reuniones de esta naturaleza deberán ser solicitadas con un mínimo de diez días de antelación.

La Propiedad, siempre que lo juzgue conveniente, convocará, por su iniciativa o a petición del Adjudicatario, reuniones con éste y, si es necesario, con otros contratantes, a fin de discutir y resolver, de acuerdo con el programa de trabajos aprobado, los problemas que resulten de la coordinación de los trabajos en curso, de la ocupación sucesiva de locales en la obra, de la disponibilidad de medios de utilización común y en uso.

Cuando varios contratistas y suministradores utilicen las instalaciones generales pertenecientes a uno de ellos, se pondrán de acuerdo sobre este uso suplementario y el reparto de los gastos correspondientes.

La Propiedad deberá estar permanentemente informada de los acuerdos tomados entre los distintos contratistas o suministradores para, en el caso de presentarse dificultades o diferencias, tomar la resolución que proceda. La decisión es obligatoria para los interesados. En ningún caso la Propiedad deberá encontrarse durante los trabajos, en presencia de una situación de hecho, que tuviese lugar por una falta de información por parte del Adjudicatario o de los otros suministradores o contratistas de las obras.

Cuando varios contratistas y suministradores trabajen en la misma obra, cada uno de ellos es responsable de los daños y perjuicios de toda clase que pudieran derivarse de su propia actuación.

8.5 Subcontratación de obras

A menos que el contrato disponga lo contrario o que de su naturaleza y condiciones se deduzca que la obra ha de ser ejecutada directamente por el Adjudicatario, este último podrá contratar con terceros la realización de determinadas unidades de obra, cumpliendo para ello los siguientes requisitos:

- ✓ Notificar por escrito al Ingeniero del subcontrato a celebrar, las partes de obra a realizar y las condiciones económicas, de modo que éste las pueda autorizar previamente.
- ✓ Que las unidades de obra que el Adjudicatario contrate con terceros no excedan el cincuenta por ciento del presupuesto total de la obra principal.

La subcontratación deberá siempre supeditarse a la autorización previa por parte de la Propiedad.

En cualquier caso, la Propiedad no quedará vinculada en absoluto, ni reconocerá ninguna obligación contractual entre ella y el Subcontratista, de forma que cualquier subcontratación de obra no eximirá al Adjudicatario de ninguna de sus obligaciones respecto a la Propiedad.

8.6 Personal de montaje

Es de competencia del Adjudicatario por su cuenta y responsabilidad, todo el personal especializado, no especializado y auxiliar para la dirección y ejecución del montaje, así como todos los suplidos y gastos de ese personal, tales como viajes, alojamientos, dietas, desplazamientos de alojamiento en obra y desplazamientos dentro de la propia obra.

Cualquiera que sea la nacionalidad del Adjudicatario, el reclutamiento del personal deberá cumplimentar las leyes en vigor.

Si el Adjudicatario emplea en obra personal extranjero, será de su cuenta y cargo la obtención de las condiciones necesarias para que pueda trabajar en España.

Todo el personal, independientemente de su nacionalidad, acatará las leyes laborales vigentes en cuanto a horarios, seguros sociales, etc., además de aquellas de carácter general que estén vigentes para el personal de la obra.

Al frente de cada trabajo de montaje, el Adjudicatario deberá tener, a pie de obra, un técnico titulado de cualquier especialidad o condición, que pueda acreditar de forma satisfactoria ante la Propiedad, su competencia en esta clase de trabajos.

El Adjudicatario es responsable de los fraudes o malversaciones que sean cometidas por su personal en el suministro o en el empleo de materiales.

El número de trabajadores de cada profesión deberá ser siempre proporcionado a la cantidad de obra a ejecutar, teniendo en cuenta los plazos fijados.

El Adjudicatario deberá remitir a la Propiedad, siempre que lo solicite, una relación del personal presente en la obra, clasificado por categoría profesional.

El Adjudicatario está obligado a mantener la disciplina y el orden en los lugares de trabajo.

La Propiedad se reserva el derecho a exigir la retirada de la obra de cualquier operario al servicio del Adjudicatario cuando su presencia se revele perjudicial para la marcha o el orden de los trabajos.

8.7 Seguros y asistencia médica

El Adjudicatario no podrá empezar los trabajos sin justificar previamente ante la Propiedad, tener cubiertos los seguros por accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, de acuerdo con la legislación vigente.

El Adjudicatario asegurará por sí mismo o por medio de Compañía de Seguros adecuada, la prestación de asistencia médica o de enfermedad al personal.

El Adjudicatario es responsable de las condiciones de seguridad en los trabajos, estando obligado a adoptar y hacer aplicar, a su costa, las disposiciones vigentes sobre esta materia, las medidas que dicten la Inspección del Trabajo y demás organismos competentes y las normas de seguridad que correspondan a las características de las obras contratadas.

Con objeto de organizar colectivamente y de inspeccionar la seguridad y la higiene de las obras, todos los contratistas que trabajen en las mismas deberán, por indicación de la Propiedad, agruparse en el seno de una Junta Central de Seguridad, formada por los representantes de las empresas, Junta que tendrá por misión coordinar las medidas de seguridad adoptadas por los comités u organizaciones de seguridad de cada una de las empresas.

9 CONDICIONES DE PAGO Y LEGISLACIÓN

9.1 Definición de precios

Los precios de los bienes y servicios objeto del suministro serán expresados en moneda española y cubrirá la fabricación, el suministro y el montaje de todos los equipos ensayados y en funcionamiento, así como todos los repuestos y servicios adicionales que se especifiquen.

Los gastos de primer establecimiento, desmontaje y retirada de las instalaciones de obra estarán incluidos en el precio del suministro.

Todos los precios unitarios o globales comprenden, sin excepción ni reserva, además del beneficio del Adjudicatario, la totalidad de los gastos y cargas ocasionadas por la ejecución de los plazos establecidos de los trabajos correspondientes a cada uno de ellos comprendidos los que resulten de las obligaciones impuestas al Adjudicatario por los diferentes documentos del contrato y por el presente Pliego de Condiciones Generales.

El precio de los materiales y equipos que componen el suministro comprenderá:

- ✓ Coste en factoría del Adjudicatario de los materiales y equipos, sean de procedencia nacional o extranjera incluso embalaje adecuado.

- ✓ Coste del transporte de factoría a pie de obra y distribución en la propia obra.

- ✓ Coste del seguro de transporte.

- ✓ Coste unitario de las piezas de repuesto que se establezcan.

En el precio de materiales y equipos estarán incluidos los estudios de fabricación, dibujos, esquemas eléctricos, etc., así como los derechos de patente, royalties y demás que puedan incidir sobre los mismos, quedando la Propiedad libre de cualquier existencia de terceros sobre los citados derechos.

En el precio del transporte estarán incluidas cargas, descargas, transbordos, colocación en parque o almacén, incluso guarda, así como los gastos correspondientes a derechos aduaneros o permisos de importación de haberlos.

El costo y montaje incluirá los gastos de instrucción y adiestramiento del personal de la Propiedad, que se hará cargo de la explotación de las instalaciones, el precio de los seguros de montaje y los ensayos de los equipos e instalaciones finalizado el montaje, en los términos señalados en este Pliego.

9.2 Prestaciones accesorias y trabajos por administración

El Adjudicatario está obligado a realizar, a título accesorio, trabajos de pequeña importancia y prestaciones complementarias en régimen de Administración.

Los trabajos realizados en régimen de Administración se liquidarán de la siguiente forma:

- ✓ Empleo de mano de obra y materiales: el importe a abonar por estos conceptos viene dado por la expresión:

$$I = (J + M) \cdot \frac{(100 + n)}{100}$$

Siendo:

- J: *importe total de la mano de obra, obtenido aplicando al total de horas trabajadas por personal obrero de cada categoría,*

directamente empleado en estos trabajos, la tarifa media horaria correspondiente, según baremo establecido, incluyendo jornales, cargas sociales, gastos de alojamiento y porcentaje de útiles y herramientas. El baremo citado debe figurar como anexo en el cuadro de precios.

- *M: precio pagado según factura de los materiales y suministros utilizados en estos trabajos, incluido el transporte hasta almacén de obra.*
 - *n: tanto por ciento de aumento sobre los conceptos anteriores, que cubre los demás gastos, gastos generales y beneficio. El valor de n se fijará en el contrato y será siempre menor o igual que 20.*
- ✓ Empleo del equipo auxiliar: la mano de obra directa y el combustible y energía correspondientes al empleo de maquinaria o equipo auxiliar del Adjudicatario, para la ejecución de trabajos o prestaciones de servicios pagados por la Administración, se abonará al Adjudicatario por aplicación de las fórmulas anteriores.

Además, se abonará al Adjudicatario una remuneración, según tarifa, en concepto de utilización de la maquinaria, incluyendo los gastos de conservación, reparaciones y recambios.

Se emplearán una o varias tarifas según el tipo de maquinaria, expresados siempre en un tanto por mil del valor de la máquina por hora efectiva de utilización (o bien por día natural de utilización).

Cuando se decida, de común acuerdo, traer a la obra nueva maquinaria, especialmente para trabajos por Administración, se empleará también la fórmula anterior, pero se asegurará al Adjudicatario una remuneración diaria mínima en concepto de inmovilización, expresada también en un tanto por mil del valor de la máquina por día natural de inmovilización.

Además, en este caso, se abonará al Adjudicatario el transporte de la maquinaria a obra, ida y vuelta, y los gastos de montaje y desmontaje, si los hubiere, según la fórmula indicada en el apartado a).

Cuando una máquina sea utilizada con posterioridad a la fecha en que su empleo era necesario para terminar los trabajos objetos del presente contrato, a partir de la misma se asegurará al Adjudicatario la percepción del mínimo de inmovilización antes señalado.

Los importes obtenidos por todas las expresiones anteriores se incluirán también en el mismo porcentaje n anteriormente citado en el apartado a), que cubre los demás gastos, gastos generales y beneficio.

El Convenio de Adjudicación o el Pliego de Condiciones Particulares establecerán los detalles complementarios que sean precisos.

9.3 Trabajos no previstos

Cuando se juzgue necesario ejecutar trabajos no previstos, se prepararán los precios contradictorios correspondientes, teniendo en cuenta los del contrato o, por asimilación, los de obras semejantes. Los nuevos precios se basarán en las mismas condiciones económicas que los precios del contrato.

A falta de mutuo acuerdo y en espera de la solución de la discrepancia, se liquidará provisionalmente al Adjudicatario en base a los precios fijados por la Propiedad.

Si no hubiese conformidad en la fijación de dichos precios entre la Propiedad y el Adjudicatario, éste quedará relegado de la construcción de la parte de la obra de que se trate, sin derecho a indemnización de ninguna clase. En esta situación en la que, a juicio de la Propiedad, sea imposible el fijar nuevos precios, o así le convenga a esta última, corresponderá únicamente a ella la decisión de abonar excepcionalmente los trabajos en régimen de Administración.

Cuando se proceda al empleo de los materiales o ejecución de las obras de que se trate, sin la previa aprobación de los precios que hayan de aplicárseles, se entenderá que el Adjudicatario se conforma con los que le fije la Propiedad.

9.4 Revisión de precios

En el caso de variación de las condiciones económicas en el curso de la ejecución del contrato, los precios establecidos serán revisados por aplicación de la fórmula general:

$$P = P_0 \cdot K$$

En la que P_0 es el precio de origen a revisar, P el nuevo valor del precio después de la revisión y K un coeficiente que se rige por la siguiente expresión:

$$K = 0,15 + a \cdot \frac{H_i}{H_0} + b_i \cdot \frac{M_i}{M_{0i}}$$

Donde:

- ✓ a y b son coeficientes de influencia que cumplen la característica de que $a+b=0,85$.
- ✓ H_0 es el índice de mano de obra en la fecha de presentación de la oferta.
- ✓ H_i es el índice de mano de obra en el período del curso del cual se calcule la revisión.
- ✓ M_{0i} y M_i son los índices correspondientes a materiales en la fecha de presentación de ofertas y en el período del curso del cual se calcule la revisión, respectivamente.

Los índices que han de utilizarse en las fórmulas de revisión serán los índices oficiales de precios sometidos mensualmente a la aprobación del Gobierno por el

Comité Superior de Precios de Contratos del Estado y publicados en el Boletín Oficial del Estado, según dispone el Decreto Ley de 4 de febrero de 1964.

Para un contrato pueden ser previstos uno o varios coeficientes K, aplicándose cada uno a un determinado grupo de precios.

La revisión de los precios se realizará únicamente en el caso de producirse variaciones en los índices previstos en cada caso.

La Propiedad establecerá en cada caso particular la fórmula o fórmulas de revisión a emplear y las normas complementarias de aplicación de las mismas. Salvo que se indique lo contrario, serán de aplicación las fórmulas oficiales realizadas para el Estado que aparecen en las Memorias de la Comisión de Precios, publicadas periódicamente por el Ministerio de Obras Públicas.

Si los trabajos no han terminado al final del plazo global de ejecución previsto en el convenio serán prolongados, si ha lugar, en un tiempo igual al de los retrasos reconocidos y aceptados por la Propiedad resultantes de circunstancias que no son imputables al Adjudicatario. Los valores de los coeficientes K a utilizar en la continuación de las obras no podrán en ningún momento ser superiores a los alcanzados en la época de la terminación del plazo. Todos los valores inferiores de estos índices serán, por el contrario, aplicados a partir de la época en la que los mismos se hayan comprobado.

En principio, no serán revisables más que los precios que se refieren a prestaciones efectuadas en territorio español.

Además, cuando estos precios contengan elementos que dependan de un sistema económico extranjero, su revisión se limitará únicamente a la fracción de cada uno de ellos que dependa de las variaciones económicas comprobadas en España.

Si el contrato prevé excepcionalmente la revisión de los precios que dependan en su totalidad o en parte de un sistema económico extranjero, el importe revisado por

medio de las fórmulas contractuales previstas a este efecto estará limitado al valor obtenido:

- ✓ Convirtiendo el precio inicial, cuando esté fijado en divisas extranjeras, en euros, al tipo de cambio aplicable en la fecha de referencia de precios.
- ✓ Aplicando al precio inicial, expresado en euros, la fórmula de revisión contractual, después de haber reemplazado los índices en vigor en el país extranjero por los índices o tipos de la misma naturaleza establecidos en el contrato.
- ✓ Convirtiendo en su caso el importe obtenido en divisas al cambio aplicable en las fechas de revisión.

9.5 Condiciones de pago

A efecto de pago de los diferentes equipos y servicios objeto del contrato, serán consideradas las dos partidas siguientes:

- ✓ Equipo y materiales entregados en el local de montaje.
- ✓ Montaje e instrucción del personal de explotación de la Propiedad.

En el contrato figurará una cláusula en la que se indique claramente la forma en que la Propiedad efectuará los pagos del equipo y materiales.

El coste del montaje será abonado totalmente en la fecha de recepción definitiva de las instalaciones, salvo que se especifique otro acuerdo en el contrato.

En el contrato se indicará el porcentaje sobre el coste total de los suministros y servicios prestados por el Adjudicatario, que no se abonarán hasta la terminación del plazo de garantía.

9.6 Penalidades

Podrán aplicarse penalidades al Adjudicatario, e incluso podrá determinarse la rescisión del contrato en los siguientes casos:

- ✓ Si no se respetan las fechas finales o intermedias del programa general de trabajos aprobados.
- ✓ Si retrasa la entrega de la documentación técnica.
- ✓ Si el equipo, o parte de él, no fuera capaz de asegurar normalmente el servicio industrial para el cual fue concebido y especificado.
- ✓ Si los resultados de las medidas y ensayos no correspondieran a los valores garantizados.

Aparte de las penalidades referidas en la cláusula del apartado anterior, el Adjudicatario tomará a su cargo los gastos ocasionados por sus retrasos.

Las penalidades o rescisión a que se ha hecho referencia serán aplicadas después de comprobar la Propiedad la imposibilidad, por parte del Adjudicatario, de corregir las faltas o defectos verificados y los desvíos medidos y después de haber introducido en el plazo autorizado por la Propiedad las modificaciones del equipo y sin que, entretanto, se produjeran perjuicios directos o indirectos a la Propiedad. La cuantía de la penalidad será determinada y calculada en cada caso particular en función del perjuicio causado a la Propiedad.

La Propiedad notificará al Adjudicatario la aplicación de penalidades mediante carta certificada con acuse de recibo.

9.7 Indemnización a favor del Adjudicatario

Únicamente tendrán derecho a la indemnización a favor de Adjudicatario las pérdidas, averías y daños imputables a la Propiedad y debidamente comprobadas, y eventualmente las imputables a casos de fuerza mayor.

El Adjudicatario tomará las disposiciones necesarias, a su costa y riesgo, para que su material e instalaciones no puedan sufrir daños o perjuicios como consecuencia de fenómenos naturales previsibles de acuerdo con la situación u orientación de la obra.

En caso de que el Adjudicatario estime que existen casos de fuerza mayor señalará este hecho por escrito a la Propiedad en el plazo máximo de diez días después de ocurrida la causa.

La Propiedad se reserva el derecho de fijar en cada caso las indemnizaciones que puedan concederse al Adjudicatario y decidir si el motivo por el que reclama la indemnización puede incluirse en lo reseñado anteriormente. Pasado el plazo de diez días, no se admitirá al Adjudicatario ninguna reclamación.

Se considerarán a estos efectos como causas de fuerza mayor las señaladas en el Pliego de Condiciones Generales para la contratación de Obras Públicas.

9.8 Cese o aplazamiento de los trabajos. Rescisión del Contrato

En el caso de que la Propiedad ordene el cese absoluto de los trabajos, el contrato queda inmediatamente rescindido. Si la Propiedad ordena su aplazamiento por más de un año, sea antes o después del comienzo de las obras, el Adjudicatario tiene derecho a la rescisión del contrato, si lo solicita por escrito, sin perjuicio de la indemnización que, tanto en un caso como en el otro, le corresponda, si hay lugar a ello.

No se aceptará la petición de rescisión por parte del Adjudicatario cuando sea presentada en un plazo superior a los cuatro meses a partir de la fecha de notificación de la orden de servicio prescribiendo el cese o el aplazamiento de los trabajos.

Si la Propiedad ordena el aplazamiento de los trabajos por menos de un año el Adjudicatario no tendrá derecho a la rescisión, pero sí a una indemnización en caso de perjuicios debidamente comprobados.

En el caso de que se hubiesen empezado los trabajos, el Adjudicatario puede requerir que se proceda a la recepción provisional de las obras acabadas y en estado de ser recibidas y después a la recepción definitiva, una vez cumplido el plazo de garantía.

En caso de fallecimiento del Adjudicatario, el contrato será rescindido de pleno derecho, salvo que los herederos se comprometan por escrito a cumplir el contrato existente, sin introducir en él modificación alguna.

En caso de quiebra o de suspensión de pagos del Adjudicatario, el contrato queda inmediatamente rescindido de pleno derecho, bastando para ello que la Propiedad lo notifique de forma fehaciente en el plazo de dos meses a partir de la publicación legal de la declaración de quiebra o de la suspensión de pagos.

En todo momento las medidas de conservación o de seguridad cuya urgencia sea manifiesta serán tomadas de oficio por la Propiedad con cargo al Adjudicatario, sin perjuicio de la decisión definitiva del Tribunal.

Cuando el Adjudicatario no dé cumplimiento a las disposiciones u obligaciones del contrato o a las órdenes que le sean dadas por la Propiedad, ésta la intimará a cumplir estos requisitos u órdenes en un plazo determinado que, salvo casos de urgencia, no será menor de diez días a partir de la notificación de la intimación.

Pasado este plazo, si el Adjudicatario no ha ejecutado las disposiciones prescritas, la Propiedad podrá ordenar, a título provisional, el establecimiento de un régimen de intervención general o parcial por cuenta del Adjudicatario.

Se procederá inmediatamente, en presencia del Adjudicatario, o habiéndose convocado debidamente, a la comprobación de los trabajos realizados, de los materiales acopiados, así como el inventario descriptivo de su material y a la devolución a éste de la parte de los materiales que no utilizará la Propiedad para la terminación de los materiales.

La Propiedad tiene, por otra parte, la facultad, sea de ordenar la convocatoria de un nuevo concurso, en principio sobre petición de ofertas, por cuenta y riesgo del Adjudicatario rebelde, sea de ejecutar el derecho de rescisión pura y simple del contrato, sea de prescribir la continuación de la intervención.

Durante el período del régimen de intervención, el Adjudicatario podrá conocer la marcha de los trabajos sin que pueda, de ninguna manera, entorpecer o dificultar las órdenes de la Propiedad.

El Adjudicatario podrá, por otra parte, ser liberado del régimen de intervención si justifica su capacidad para volver a hacerse cargo de los trabajos y llevarlos a buen fin.

Los excedentes de gastos que resulten de la intervención o del nuevo contrato serán deducidos de las sumas que puedan ser debidas al Adjudicatario, sin perjuicio de los derechos a ejercer contra él en caso de ser insuficientes.

Si la intervención o el nuevo contrato suponen, por el contrario, una disminución de gastos, el Adjudicatario no podrá pretender beneficiarse en ninguna parte de la diferencia que quedará a favor de la Propiedad.

En todos los casos de rescisión se procederá con el Adjudicatario o sus derecho-habientes presentes o debidamente convocados, a la comprobación de los trabajos realizados, al inventario de los materiales acopiados, así como al inventario descriptivo de la maquinaria y de la instalación de la obra.

En caso de rescisión por otros conceptos que no sean la petición de ésta por parte de la Propiedad, esta última entidad puede exigir al Adjudicatario que mantenga

en la obra todo o parte de sus instalaciones generales o de su material, con el fin de poder disponer libremente la prosecución de los trabajos, encargando su explotación, si lo estima conveniente, a otra empresa.

Las instalaciones, maquinaria, etc., que la Propiedad decida que deben permanecer en obra, podrán ser utilizadas por la Propiedad o por otra empresa de su elección hasta la terminación de las obras objeto del contrato rescindido, sin pago alguno por parte de la Propiedad o de la empresa que designe, en concepto de alquiler, amortización, etc.

Los materiales existentes en la obra y que la Propiedad decida utilizar en la terminación de las obras serán abonados a los precios que figuren en el contrato rescindido, o los que se fijen en su peritaje.

En los casos de rescisión por decisión de la Propiedad, se decidirá de mutuo acuerdo entre ésta y el Adjudicatario, las instalaciones que deben permanecer en la obra y la indemnización a pagar por la Propiedad en ese concepto.

En ningún caso podrá el Adjudicatario retirar de la obra maquinaria, materiales, instalaciones, etc., sin la autorización escrita de la Propiedad.

En caso de rescisión del contrato, la Propiedad le comunicará en un plazo de cuatro meses a partir de la fecha de rescisión, las instalaciones, maquinaria, materiales, etc., que deben permanecer en la obra. También le indicará el plazo en que debe retirar de la obra las instalaciones, maquinaria, materiales, etc., que la Propiedad no vaya a emplear en la terminación de las mismas.

Para la aplicación del presente Artículo por el Adjudicatario es preciso entender, en su caso, sus derecho-habientes.

9.9 Legislación

Las leyes españolas regularán las fases de concurso y el establecimiento del contrato.

El Adjudicatario queda obligado a respetar las disposiciones prescritas en la legislación española vigente aplicables a la ejecución del contrato y a soportar las consecuencias de su incumplimiento.

El Adjudicatario y la Propiedad acuerdan someter la resolución de todas las divergencias, controversias o discrepancias a que puedan dar lugar la interpretación o la ejecución del contrato de obras al juicio arbitral de derecho privado, de acuerdo con las normas establecidas en la Ley de 22 de diciembre de 1983.

Los árbitros resolverán sobre los puntos concretos que se sometan a su decisión en la correspondiente escritura notarial de formalización de compromiso y dentro del plazo que en la misma se señale.

Los honorarios de los árbitros serán sufragados a medias entre el Adjudicatario y la Propiedad.

Contra el laudo emitido por los árbitros, con arreglo a su leal saber y entender, únicamente cabrá recurso de nulidad ante la Sala del Tribunal Supremo, por los motivos que indica nº3 del Artículo 1691 de la Ley de Enjuiciamiento Civil.

TÍTULO: PLANTA DE REGASIFICIÓN OFFSHORE DE GNL

PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES

PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N

15405 - FERROL

FECHA: JUNIO DE 2014

AUTOR: EL ALUMNO

Fdo.: JUAN SEBASTIAN REY PIÑON

ÍNDICE

1	CIMENTACIÓN Y ESTRUCTURAS	1
1.1	<i>Obras de hormigón.....</i>	<i>1</i>
1.2	<i>Hormigón.....</i>	<i>3</i>
1.3	<i>Cemento.....</i>	<i>4</i>
1.4	<i>Agua.....</i>	<i>4</i>
1.5	<i>Áridos.....</i>	<i>4</i>
1.6	<i>Dosificación.....</i>	<i>4</i>
1.7	<i>Aditivos.....</i>	<i>5</i>
1.8	<i>Armaduras.....</i>	<i>5</i>
1.9	<i>Morteros y adhesivos.....</i>	<i>6</i>
1.10	<i>Suministro.....</i>	<i>6</i>
1.11	<i>Puesta en marcha.....</i>	<i>7</i>
1.11.1	<i>Agua.....</i>	<i>7</i>
1.11.2	<i>Colocación.....</i>	<i>7</i>
1.11.3	<i>Compactación.....</i>	<i>7</i>
1.11.4	<i>Espesores del hormigón.....</i>	<i>8</i>
1.11.5	<i>Juntas de hormigón.....</i>	<i>8</i>
1.11.6	<i>Curado del hormigón.....</i>	<i>8</i>
1.11.7	<i>Apuntalamiento, encofrado y desencofrado.....</i>	<i>8</i>
1.12	<i>Control.....</i>	<i>9</i>
1.12.1	<i>Componentes del hormigón.....</i>	<i>9</i>
1.12.2	<i>Hormigón.....</i>	<i>9</i>
1.12.3	<i>Armaduras.....</i>	<i>9</i>
1.12.4	<i>Formas y disposición.....</i>	<i>10</i>
1.12.5	<i>Ensayos informativos.....</i>	<i>10</i>
1.13	<i>Recepción de piezas y conjuntos.....</i>	<i>10</i>

1.14	<i>Mediciones</i>	11
1.15	<i>Documentación a entregar</i>	11
1.16	<i>Estructuras</i>	11
2	INSTALACIÓN ELÉCTRICA	12
2.1	<i>Instalación eléctrica</i>	12
2.2	<i>Conductores</i>	13
2.3	<i>Identificación</i>	14
2.4	<i>Terminales</i>	14
2.5	<i>Instalación de aparatos</i>	15
2.6	<i>Cuadros de distribución</i>	15
2.7	<i>Instalaciones de fuerza y alumbrado</i>	15
2.8	<i>Equilibrio de fases</i>	16
2.9	<i>Acometida general</i>	16
2.10	<i>Subestación de Alta y Baja tensión</i>	16
2.11	<i>Contadores</i>	17
2.12	<i>Instalación de BT (genralidades)</i>	17
3	EQUIPOS	18
3.1	<i>Lista y especificaciones de equipos</i>	18
3.1.1	Tanques de almacenamiento T-211 y T-221	18
3.1.2	Compresores de boil-off gas (BOG) K-301A/B/C	19
3.1.3	Separador de líquido V-301	20
3.1.4	Separador de líquido V-102	20
3.1.5	Intercambiador de calor E-102	21
3.1.6	Intercambiador de calor E-301	22
3.1.7	Vaporizadores E-410 y E-420	23
3.1.8	Relicudador R-401	24
3.1.9	Bombas primarias P-211A/B y P-221A/B	25
3.1.10	Bombas secundarias P-411A/B/C/D	26

3.1.11	Bombas de agua de mar P-501A/B/C.....	27
--------	---------------------------------------	----

1 CIMENTACIÓN Y ESTRUCTURAS

1.1 Obras de hormigón

Agua, áridos y aditivos cumplirán lo especificado en los apartados correspondientes de este Pliego de Condiciones.

La puesta en obra del hormigón no se iniciará hasta que se hayan estudiado y aprobado su correspondiente fórmula de trabajo, la cual será fijada por el Director y a la vista de las circunstancias en las que discurra la obra, determinará granulometría, dosificación y consistencia del hormigón.

La dosificación será determinada mediante ensayos previos, si bien se podrá prescindir de ellos si el Adjudicatario justifica, a través de experiencias anteriores, que ésta es adecuada para las características exigidas para el hormigón.

El agua de amasado no tendrá una temperatura superior a 40°C salvo en caso de hormigonado en tiempo frío.

El agua de amasado deberá ser dulce, no admitiéndose agua salitrosa ni magnésica, así como todas aquéllas que contengan sustancias perjudiciales para la resistencia y conservación del buen estado de los morteros y hormigones.

Las arenas serán naturales, silíceas y no contendrán ni yeso, ni magnesio y estarán limpias de tierra y materia orgánica, no tendrán más de un décimo de su peso en humedad, ni formarán ni tomarán cuerpo al apretarlas.

Para hormigones H-250 o superiores será obligado realizar la mezcla en central. La mezcla en el camión comenzará a los treinta minutos siguientes de la unión del cemento a los áridos. La descarga se realizará dentro de la hora y

media siguiente a la carga, pudiéndose aumentar ésta previa autorización del Director, o bien disminuirse si la elevada temperatura o cualquier otra circunstancia así lo aconsejan.

Todas las cimbras, encofrados y moldes deberán ser capaces de resistir las acciones del hormigonado, para lo cual deberán presentar la resistencia y rigidez suficiente. Asimismo, serán suficientemente estancos como para impedir pérdidas de lechada y sus superficies estarán suficientemente limpias en el momento de hormigonar.

Para las obras, tanto con hormigón en masa o en armado, se seguirán las normas NTE-EH, "*Estructuras de hormigón*".

Las secciones y cotas de profundidad serán las que el Ingeniero Director señale, con independencia de los señalados en el proyecto que tiene carácter meramente informativo.

Se adoptarán las condiciones relativas a materiales, control, valoración, mantenimiento y seguridad especificados en la norma NTE-CSZ, *Cimentaciones superficiales. Zapatas*.

El transporte desde la hormigonera se realizará lo más rápido posible, cuidando de que no se produzca segregación, introducción de cuerpos extraños o desecación excesiva de la masa.

No se rellenará ninguna zanja o pozo de cimentación y estructura, en general, hasta que el Adjudicatario reciba la orden del Director Técnico.

Durante la operación de vertido, las armaduras quedarán completamente envueltas, manteniéndose los recubrimientos y separación entre ellas, para lo cual se removerá el hormigón adecuadamente. El método general de

compactación será el de vibrado. Éste se realizará de manera que no se produzcan segregaciones ni fugas de lechadas importantes.

1.2 Hormigón

Para la realización de las cimentaciones se empleará el H-275 si el Director Técnico no indicase lo contrario.

Las características técnicas exigibles al hormigón son:

- I. Densidad: las densidades máximas del hormigón en seco y fresco serán de 425 kg/m^3 y 600 kg/m^3 , respectivamente.
- II. Conductividad térmica: el coeficiente de conductividad térmica tiene que ser de $0,1 \text{ W/m K}$.
- III. Resistencia a compresión: la resistencia a compresión será como mínimo de 4 kg/cm^2 .

En cada lote compuesto como máximo de 1000 m^2 se realizarán sobre dos muestras los ensayos definidos en las características técnicas con las siguientes tolerancias de aceptación, sobre los valores expuestos, según los métodos de ensayo de las normas UNE correspondientes:

- I. Densidad: valores superiores a 433 kg/m^3 .
- II. Conductividad térmica: valores no superiores a $0,11 \text{ W/m K}$. El ensayo se realizará según ASTM-C-177 y UNE 92201-86, 92202-86.
- III. Resistencia a compresión: valor no inferior a 3 kg/m^2 . Ensayo según ASTM-C-495-69.

El hormigón en zapatas de estructuras metálicas y cimentaciones de recipientes, columnas e intercambiadores se preparan en superficie previamente, aplicándose una capa de 60 micras de epoxi-alquitrán y una capa de 120 micras de pintura de acabado de epoxi-alquitrán.

1.3 Cemento

El Adjudicatario informará a la Dirección de Obra del fabricante que suministrará el cemento y del nombre comercial de éste, adjuntando la garantía de este fabricante de que su producto cumple con las condiciones requeridas.

No se variará el Suministrador, ni el tipo de cemento durante la ejecución de la obra sin la autorización de la Dirección de Obra.

1.4 Agua

Se aplicará el artículo de la EH-91.

1.5 Áridos

El tamaño de los áridos que se van a utilizar deberán ajustarse en todo momento a lo dictado por el artículo 7º de la EH-91.

El Adjudicatario facilitará a la Propiedad el acceso al lugar de fabricación y procedencia de los áridos para realizar las verificaciones oportunas.

1.6 Dosificación

La dosificación en la obra quedará determinada en los ensayos previos y en las condiciones dictadas por el artículo 67 de la norma EH-91.

Durante la ejecución de la obra se mantendrá la dosificación inicial, salvo que varíen las características de algún componente del hormigón, en cuyo caso se realizarán ensayos para determinar la nueva composición.

1.7 Aditivos

No se prevé el uso de ningún aditivo al hormigón. En el caso de que se contemple la necesidad o conveniencia del empleo de cierto tipo de aditivo, éste necesitará la aprobación de la Dirección de Obra, para lo cual el Adjudicatario propondrá el Suministrador y el tipo de producto, adjuntando las especificaciones técnicas del mismo. Además, se efectuarán ensayos previos para apreciar así en qué medida se ve modificada la resistencia al hormigón.

1.8 Armaduras

Para el armado del hormigón se emplearán barras corrugadas AEH-500S soldables y con características UNE 3606888. El empalme de las armaduras se realizará siguiendo el artículo 41 de la norma EH-91.

El doblado y colocación de las armaduras se hará de acuerdo con las indicaciones de los artículos 12 y 13 de la norma EH-91.

El Adjudicatario entregará a la Dirección de la Obra el certificado de garantía del fabricante, en el que también se indicará que es apto para el soldeo y las condiciones y procedimientos en que éste debe realizarse.

En el caso de utilizarse elementos de uniones de barras tales como manguitos roscados, Cadweld, etc., éstos deberán encontrarse homologados por algún organismo oficial a nivel nacional. En cualquier caso, la resistencia de la unión a rotura en ensayo de tracción deberá cumplir los siguientes requisitos:

- ✓ Rotura fuera de la unión: superior a la carga de rotura de la menor de las barras a unir.
- ✓ Rotura en la unión: superior a 1,2 veces la carga de rotura de la menor de las barras a unir.

Todas las barras llevarán grabadas las marcas de identificación del tipo de acero y la marca del fabricante, según los códigos de homologación dados en la UNE-3606888.

1.9 Morteros y adhesivos

El Adjudicatario entregará a la Dirección de Obra para su aprobación el tipo de marca de los morteros especiales y adhesivos, así como las características técnicas de los mismos.

1.10 Suministro

La fabricación del hormigón, así como el transporte, deberá ajustarse al artículo 15 de la EH-91.

El Adjudicatario presentará las características técnicas y funcionales de la planta de hormigón, que deberá superar con holgura las necesidades de la obra en los momentos punta.

Con el fin de asegurar el suministro de hormigón a la obra, la planta dispondrá de materiales acopiados en cantidad suficiente como para producir hormigón al máximo de producir durante diez horas.

La planta dispondrá para su manejo de personal especializado en este trabajo, y mantendrá las mismas personas con el fin de asegurar un hormigón homogéneo. La planta dispondrá de los medios necesarios para determinar la

cantidad de agua en los áridos y poder corregir la cantidad de agua de amasado. El transporte al punto de vertido se realizará con cubas giratorias de aspas fijas.

1.11 Puesta en marcha

La puesta en obra del hormigón se hará siguiendo las indicaciones del artículo 16 de la EH-91 y teniendo en cuenta muy especialmente lo que se establece en los subapartados que se incluyen a continuación.

1.11.1 Agua

Queda totalmente prohibida la adición de agua en las cubas de transporte al hormigón elaborado procedente de la planta de hormigonado.

1.11.2 Colocación

Se tendrá especial cuidado para el vertido continuo y si es necesario se colocarán con conducciones adecuadas, de forma que en ningún caso se produzca disgregación de la mezcla.

1.11.3 Compactación

La compactación del hormigón se realiza por vibrado, utilizando personal cualificado y evitando en lo posible el contacto del vibrador con la armadura. Se emplearán vibradores internos de aguja, cuya frecuencia no será inferior a 6000 rpm. Se tendrá especial cuidado en la ejecución del hormigón en cotas por debajo del nivel freático para evitar filtraciones de agua.

1.11.4 Espesores del hormigón

Cuando la pieza que se va a hormigonar tenga las tres dimensiones mayores de dos metros, el Adjudicatario podrá elegir bien la interrupción del vertido de forma que la dimensión vertical tenga esperas de 24 horas en cada altura de 2 m, bien la colocación de termopares en los puntos más alejados de las superficies, deteniendo el vertido del hormigón al superar los 60°C.

El Adjudicatario podrá proponer espesores de tongada después de haber investigado temperaturas máximas a las 24 horas.

1.11.5 Juntas de hormigón

Siempre que se haga una junta de hormigonado por debajo del nivel freático, se dispondrá de una junta estanca y adhesivo de hormigón viejo-nuevo. Previamente a la aplicación del adhesivo se limpiará la junta de toda suciedad o árido que haya quedado suelto, se picará y retirará la capa superficial del mortero, dejando los áridos al descubierto.

En cualquier caso, se tendrá en cuenta el artículo 17 de EH-91.

1.11.6 Curado del hormigón

Se procederá de acuerdo con lo indicado en el artículo 20 de la EH-91.

1.11.7 Apuntalamiento, encofrado y desencofrado

Como norma general, el plazo de desencofrado de cualquier elemento estructural no será inferior a 72 horas, salvo que la Dirección de la Obra autorice un plazo menor o exija uno mayor. No se permitirá el despuntalamiento para la retirada del encofrado hasta que no haya transcurrido

el período que la Dirección de Obra considere preciso para dicho desapuntalamiento.

1.12 Control

Los ensayos que se realicen se harán con cargo al Adjudicatario, a través de una empresa especializada.

En obra se dispondrá, para la realización del control, de cinta métrica, regla, nivel, plomada, termómetro, cono de Abrams, siete moldes de probetas con chapa y retacador.

La toma de muestras, conservación y rotura, se hará de acuerdo a lo dictaminado por las normas UNE 8330084, 8330184 y 8330484.

1.12.1 Componentes del hormigón

Artículo 63 de la EH-91.

1.12.2 Hormigón

Se realizarán ensayos previos y característicos que indican la EH-91. Los ensayos de control se realizarán en la modalidad de control estadístico a nivel normal. La definición de las partes de obra se realizará de acuerdo con la Dirección de Obra, a la vista de la planificación del hormigonado, ajustándose en todo momento a lo especificado en el artículo 69 de Eh-91.

1.12.3 Armaduras

Se realizará el control a nivel normal.

1.12.4 Formas y disposición

No se realizará el hormigonado sin la previa aprobación de la Dirección de la Obra, comprobándose la disposición y diámetros de las armaduras, formas geométricas, estado de las superficies contra las que se hormigota, etc.

1.12.5 Ensayos informativos

La Dirección de Obra se reserva el derecho a exigir al Adjudicatario, cuando lo considere, ensayos informativos.

1.13 Recepción de piezas y conjuntos

Para la realización de una pieza deben haber resultados positivos los controles realizados y cumplirse las tolerancias geométricas. La recepción de un conjunto requiere la aceptación de cada una de las partes.

En caso de que una pieza resultase no apta para su recepción, la Dirección de la Obra estudiará y decidirá o no, su demolición, la reparación de la pieza, la realización de ensayos de información o pruebas de carga u otro tipo de comprobaciones para determinar si la pieza puede cumplir las funciones a las que ha sido destinada. En el caso de aceptarse una pieza en condiciones no adecuadas para su recepción, el Adjudicatario presentará a la Dirección de Obra una propuesta de compensaciones.

1.14 Mediciones

Las mediciones se harán sobre plano. El Adjudicatario podrá, en casos especiales, proponer a la Dirección de Obra otro tipo de medición para su aprobación.

1.15 Documentación a entregar

Con la recepción de la obra se entregará, por parte del Adjudicatario, un dossier completo con los certificados de garantía y calidad de todos los materiales utilizados, así como los certificados de todas las pruebas e inspecciones realizadas.

1.16 Estructuras

Las estructuras empleadas para soportar los equipos serán de acero laminado, tanto la propia estructura como todos sus elementos de unión.

La estructura y los elementos de unión serán de acero al carbono A-52. La superficie de las estructuras se preparará con un chorreado siguiendo las especificaciones SIS 05.59.00, PSC-SP.

De no especificarse lo contrario, se aplicará un chorreado Sa 2, según la especificación PSC-SPIO.

Se aplicará una capa de imprimación de 40 micras como mínimo al clorocaucho. Se aplicará otra capa de pintura de fondo de 80 micras de clorocaucho. Como pintura de acabado, se aplicarán dos capas de 25 micras/capa de clorocaucho puro.

Las condiciones relativas a la ejecución, seguridad en el trabajo, control de la ejecución, valoración y mantenimiento, se regirán según lo establecido en las normas:

- ✓ NBE-MV-102: *Ejecución de las estructuras de acero laminado en edificación*. Se fijan los tipos de unión, la ejecución en taller, el desmontaje en obra, y las tolerancias.
- ✓ NBE-MV-103: *Acero laminado para estructuras de edificaciones*, en donde se fijan las características de acero laminado y los productos laminados actualmente utilizados.
- ✓ NBE-MV-105: *Roblones de acero*.
- ✓ NBE-MV-106: *Tornillos ordinarios calibrados para estructuras de acero*.
- ✓ NB-EA: *Estructuras de acero*.

2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA

2.1 Instalación eléctrica

Serán de aplicación los Reglamentos Españoles en vigencia (Reglamentos de Instalación Eléctrica y Baja Tensión, Reglamento de Verificaciones Eléctricas, etc.). Asimismo, deberán tenerse presentes los Reglamentos Locales; con carácter general, se aplicarán las normas UNE en los equipos y materiales a los que se puedan aplicar.

En casos de distintas calidades o interpretaciones de los distintos reglamentos y normas aplicables, se tomará en cuenta la opinión y decisión de la Dirección.

Todos los equipos y materiales eléctricos se instalarán de acuerdo con las normas de los fabricantes.

Todo el material ubicado en el exterior deberá ser ATEX categorizado por zonas según la parte de la planta en la que esté instalado. Además deberá tener marcado CE

Todo el material eléctrico instalado, como, protecciones eléctricas, pantallas de alumbrado, regletas de conexión, celdas de protección y/o medida, transformadores, etc., deberán tener probada su eficacia y un bajo índice de fallo. Deberá llevar en el mercado al menos 2 años y deberá incluirse el índice de fallo en la documentación entregada.

2.2 Conductores

Las bobinas y rollos de cable se protegerán de todo daño posible durante la obra. No se introducirán los conductores antes de que éstos estén perfectamente colocados en su sitio y haya sido previamente comprobados que no existe ninguna obstrucción en su interior.

Los conductos serán tratados con todo cuidado durante la obra para evitar cualquier posibilidad de dañarlos.

Cuando varios conductos vayan juntos en un tubo, se introducirán todos a la vez.

El Contratista informará por escrito al Ingeniero Director de la obra el nombre del fabricante de los conductores y le enviará una muestra de los mismos.

Si el fabricante no reúne la suficiente garantía a juicio del Ingeniero Director, antes de instalar el molde se comprobarán las características de éstos en un laboratorio oficial.

No se admitirán cables que presenten desperfectos superficiales, o que vayan en las bobinas de origen en las que deberá figurar el nombre del fabricante y tipo de cable de y sección.

No se permitirá el empleo de materiales de procedencia distinta en un mismo circuito.

Todo el cableado deberá tener marcado CE y deberá cumplir normativa Española.

2.3 Identificación

El traceado de cable, tanto en Alta Tensión, como en baja tensión deberá estar identificado en sus extremos, conforme a proyecto de obra. El marcado deberá ser indeleble y los casos de traceado exterior además deberá ser resistente a corrosión (etiquetas troqueladas en INOX). La identificación debe ser clara y de letra de estándar reconocido.

2.4 Terminales

Todas las terminaciones de los cables deberán ser rematadas con punteras habilitadas a tal efecto. En el caso del cableado específico de Transformadores, barras de media tensión, o aparamenta especial, los terminales usados deberán ser los recomendados por el fabricante. En la parte inferior del terminal o botella aparecerá rodeando el cable la identificación conforme a apartado 2.3.

2.5 Instalación de aparatos

Todos los dispositivos, armarios, canaletas, etc., deberán ser instalados conforme a proyecto , y deberán quedar completamente preparados para su funcionamiento.

El Adjudicatario de la instalación deberá poseer las instrucciones de los diferentes fabricantes de los equipos y seguirlas ordenadamente.

Cuando los equipos vayan sobre paredes, techos o estructuras, el Adjudicatario realizará todo el trabajo necesario para su fijación. Se usarán pernos metálicos o en su defecto taco químico y siempre se debe garantizar la soportación conforme al peso demandado.

2.6 Cuadros de distribución

Los cuadros serán nivelados y alineados perfectamente en su ubicación usando calzos si fuese necesario. Antes de entrar en servicio serán repasadas todas las conexiones y la tortillería, y se limpiarán perfectamente todos los aisladores, bornas, traceado, canaletas, conexiones flexibles etc. El Adjudicatario realizará todas las conexiones interiores y exteriores que se requieran. En el interior de los cuadros ubicado en zonas a intemperie deberá ubicarse una bolsa de secante, dimensionada conforme al tamaño del cuadro. Todas las cajas o cuadros ubicados a intemperie deberá disponer de un respiradero ATEX con el fin de evitar condensaciones.

2.7 Instalaciones de fuerza y alumbrado

El Adjudicatario realizará las conexiones en cajas, aparatos, etc., y serán instalados completamente, incluyendo lámparas, difusores, reactancias, etc., y todos aquellos accesorios que formen parte del montaje.

Las lámparas se instalarán una vez que estén perfectamente colocados los apartados de alumbrado, de acuerdo con los planos y las instrucciones del fabricante.

Las cajas de mecanismos no se instalarán hasta conocerse perfectamente el acabado de las paredes en donde ha de alojarse y no se permitirá el paso de conductores hasta que no estén bien rematadas

2.8 Equilibrio de fases

Como norma general, tanto en AT como en BT se realizarán las conexiones de receptores de tal manera que el desequilibrio de fases no supere más de un 10%.

2.9 Acometida general

La línea de alimentación está fuera del alcance del proyecto, dado que es una plataforma offshore. Pero como requisito se identificará el suministro como AT en 132KV para una demanda de potencia máxima de 20MVA. Dicha potencia nunca será demandada de forma continua pero si contemplada dados los picos de arranque de equipos previstos en la planta.

2.10 Subestación de Alta y Baja tensión

Se deberá suministra una subestación blindada tipo GIS para 145KV, 40A con 5 posiciones de intercambio y dotada esta con los respectivos módulos de medida y protección de barra y salidas. La GIS deberá entregarse montada, conexionada y cargada con gas conforme a recomendación del fabricante.

Además deberá habilitarse de una subestación de media tensión para 6,6KV de celdas blindadas. Está contemplará las posiciones recogidas en

proyecto y las celdas de acoplamiento necesarias para garantizar la redundancia de alimentación. Esta subestación se entregará conexas y con las protecciones ensayadas para las especificaciones de funcionamiento de los equipos.

Se deberá montar, cablear e instalar todas las posiciones de baja tensión conforme a proyecto. Así mismo se deberá entregar la instalación revisada y probada. El montaje deberá ser ejecutado conforme a especificaciones e instrucciones de fabricante.

2.11 Contadores

Los contadores serán instalados en el interior de la Subestación Aislada de Gas (GIS) y dispondrán de telemedida. El conexionado quedará ejecutado y los contadores habilitados para su función.

2.12 Instalación de BT (generalidades)

Los mecanismos, cajas de derivación y pantallas serán de tipo estanco con protección IP65. La instalación será de superficie y los conductores irán por el interior de tubos rígidos de PVC con diámetros que se reflejen en los planos correspondientes. Los tubos no serán cerrados y las curvas serán tipo americano, es decir con codo abierto.

El material instalado en el exterior será ATEX y con certificado CE. La categorización ATEX vendrá dada por la clasificación de áreas del proyecto.

El material instalado en interior responderá a normativa española y deberá disponer de marcado CE. Se deberá ejecutar la instalación conforme a proyecto y se entregará revisada y probada.

3 EQUIPOS

3.1 Lista y especificaciones de equipos

En este apartado se citan los equipos principales de planta así como sus características.

La situación de los equipos aquí citados es al aire libre o sumergido, en el caso de las bombas primarias y secundarias en GNL y en el caso de las bombas de impulsión de agua en el mar.

3.1.1 Tanques de almacenamiento T-211 y T-221

Número de equipos: 2

Tabla 3.1. Características y dimensiones de los tanques T-211 y T-221

TANQUES T-211 Y T-221	
$T_{\text{diseño}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	-170
$P_{\text{diseño}} \text{ (Pa)}$	$1,25 \cdot 10^5$
DIMENSIONES	
Alto (m)	30
Ancho (m)	35
Largo (m)	155
Capacidad nominal (m ³)	150.000
Material	Acero AISI 304
$k_{\text{acero}} \text{ (W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}\text{)}$	16,2
 AISLANTE	
Material	PUF
$K_{\text{PUF}} \text{ (W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}\text{)}$	0,020
Espesor aislante (m)	0,5

3.1.2 Compresores de boil-off gas (BOG) K-301A/B/C

Número de equipos: 3

Tabla 3.2. Características de los compresores K-301 A/B/C

COMPRESORES K-301 A/B/C	
T_1 (K)	133 K
P_1 (Pa)	126.000
T_2 (K)	238,08
P_2 (Pa)	1.126.000
H_{adiab} (kJ/kg)	204,47
Potencia _{teórica} (kW)	244,61
η	75%
Potencia _{real} (kW)	326,15
FLUIDO; BOG	
Flujo másico (kg/h)	4.313
Densidad (kg/m ³)	9,61
$k=C_p/C_v$	1,362

3.1.3 Separador de líquido V-301

Número de equipos: 1

Tabla 3.3. Características del separador V-301

SEPARADOR V-301	
Diámetro $\equiv D_v$ (m)	1,5
Nivel de líquido (m)	0,33
Altura entrada de vapor [desde nivel de líquido] (m)	0,75
Altura rejilla separadora [desde nivel de entrada de vapor] (m)	1,5
Distancia rejilla separadora-salida gas (m)	0,75
Altura total (m)	3,33
Material	Acero AISI 304

3.1.4 Separador de líquido V-102

Número de equipos: 1

Tabla 3.4. Características del separador V-102

SEPARADOR V-301	
Diámetro $\equiv D_v$ (m)	1,25
Nivel de líquido (m)	0,33
Altura entrada de vapor [desde nivel de líquido] (m)	0,63
Altura rejilla separadora [desde nivel de entrada de vapor] (m)	1,25
Distancia rejilla separadora-salida gas (m)	0,63

Altura total (m)	2,84
Material	Acero AISI 304

3.1.5 Intercambiador de calor E-102

Número de equipos: 1

Tabla 3.5. Resumen de características del cambiador E-102

INTERCAMBIADOR E-102		
Tipo de intercambiador	Carcasa y tubos con cabezal flotante	
Material	Acero AISI 304	
Número de pasos por tubo	2	
Número de pasos por carcasa	1	
Pitch (m)	0,075	
Standard tubos	Sch 40	
Número de tubos por paso	46	
Longitud de los tubos (m)	4,88	
Diámetro externo de los tubos (m)	0,0603	
Diámetro interno de los tubos (m)	0,0525	
U ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	59	
Caída de presión en tubos (kPa)	0,01	
Caída de presión en carcasa (kPa)	1,63	
FLUIDOS		
	CARCASA	TUBOS
$T_{entrada}$ (K)	163	113
T_{salida} (K)	133	123
T_m (K)	148	118
P (kPa)	126	500
ρ_m (kg/m^3)	1,996	454

μ_m (Pa s)	10^{-5}	$1,34 \cdot 10^{-4}$
k_m ($W m^{-1} K^{-1}$)	0,012	0,187
C_{Pm} ($kJ kg^{-1} K^{-1}$)	2,026	3,124
Caudal (kg/h)	7.984	15.234

3.1.6 Intercambiador de calor E-301

Número de equipos: 1

Tabla 3.6. Resumen de características del cambiador E-301

INTERCAMBIADOR E-301		
Tipo de intercambiador	Carcasa y tubos con cabezal flotante	
Material	Acero AISI 304	
Número de pasos por tubo	2	
Número de pasos por carcasa	1	
Pitch (m)	0,075	
Standard tubos	Sch 40	
Número de tubos por paso	87	
Longitud de los tubos (m)	4,88	
Diámetro externo de los tubos (m)	0,0483	
Diámetro interno de los tubos (m)	0,0409	
U ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	79	
Caída de presión en tubos (kPa)	0,019	
Caída de presión en carcasa (kPa)	4,4	
FLUIDOS		
	CARCASA	TUBOS
$T_{entrada}$ (K)	183	113
T_{salida} (K)	133	123
T_m (K)	158	118
P (kPa)	126	1000
ρ_m (kg/m^3)	1,996	454

μ_m (Pa s)	10^{-5}	$1,34 \cdot 10^{-4}$
k_m ($W m^{-1} K^{-1}$)	0,012	0,187
C_{Pm} ($kJ kg^{-1} K^{-1}$)	2,011	3,124
Caudal (kg/h)	12.939	40.656

3.1.7 Vaporizadores E-410 y E-420

Número de equipos: 2

Tabla 3.7. Características principales E-410 y E-420

DIMENSIONES VAPORIZADORES E-410 Y E-420		
Material	Aluminio	
Número de paneles	8	
Número de tubos/panel	86	
Dimensiones del panel (Largo/Ancho/Alto)	2,58 m/0,01 m/6 m	
Diámetro interno del tubo interno	0,051 m	
Diámetro interno del tubo externo	0,098 m	
Espesor tubo interno	0,008 m	
Espesor tubo externo	0,01m	
FLUIDOS		
Caudal (kg/h)	150.000	5.490.194
Presión (bar)	85	2
$T_{entrada}$ ($^{\circ}C$)	-156	15
T_{salida} ($^{\circ}C$)	3	9
λ (kJ/kg)	400	
C_P ($kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)	$2_{(gas)}$; $3,6_{(líquido)}$	4,69
ρ (kg/m^3)	$1,879_{(gas)}$; $454_{(líquido)}$	1025
k ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	$0,04_{(gas)}$; $0,19_{(líquido)}$	0,58

3.1.8 Relicador R-401

Número de equipos: 1

Tabla 3.8. Características del R-401

Zona de condensación (cabeza)	
L (m)	1,5
d (m)	1,5
V (m ³)	2,6
Relleno	
Anillos rasching	
Diámetro	3 in (76 mm)
Densidad	400 (kg/m ³)
Área especif.	72 m ² /m ³
Zona de residencia (colas)	
D (m)	6,3
L (m)	12,6
L_{TOTAL} (m)	19

Material: Acero AISI 304

3.1.9 Bombas primarias P-211A/B y P-221A/B

Número de equipos: 4

Tabla 3.9. Condiciones de diseño de las bombas primarias

Condiciones de diseño	
$Q_{\text{diseño}}$ (m ³ /h)	465
T (°C)	-160
ρ (kg/m ³)	458
h_1 (m)	3
h_2 (m)	48
P_1 (Pa)	10 ⁵
P_2 (Pa)	10 ⁶
η (%)	70
ΣF_1 (Pa)	0
ΣF_2 (Pa)	5.122
W (J/kg)	2.417
Potencia (kW)	212
NPSH _{disponible} (m)	25

3.1.10 Bombas secundarias P-411A/B/C/D

Número de equipos: 4

Tabla 3.10. Condiciones de diseño de las bombas secundarias

Condiciones de diseño	
$Q_{\text{diseño}}$ (m ³ /h)	390
T (°C)	-156
ρ (kg/m ³)	458
h_1 (m)	6
h_2 (m)	8
P_1 (Pa)	10^6
P_2 (Pa)	$8,5 \cdot 10^6$
η (%)	70
ΣF_1 (Pa)	0
ΣF_2 (Pa)	3.840
W (J/kg)	16.406
Potencia (kW)	1.200
NPSH _{disponible} (m)	228

3.1.11 Bombas de agua de mar P-501A/B/C

Número de equipos: 3

Tabla 3.11. Condiciones de diseño de las bombas de agua de mar

Condiciones de diseño	
$Q_{\text{diseño}}$ (m ³ /h)	5.360
T (°C)	15
ρ (kg/m ³)	1.025
h_1 (m)	10
h_2 (m)	23
P_1 (Pa)	116.392
P_2 (Pa)	$2 \cdot 10^5$
η (%)	70
ΣF_1 (Pa)	0
ΣF_2 (Pa)	6.521
W (J/kg)	210
Potencia (kW)	474
NPSH _{disponible} (m)	21,3

TÍTULO: PLANTA DE REGASIFICIÓN OFFSHORE DE GNL

PRESUPUESTO

PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N

15405 - FERROL

FECHA: JUNIO DE 2014

AUTOR: EL ALUMNO

Fdo.: JUAN SEBASTIAN REY PIÑON

TÍTULO: PLANTA DE REGASIFICIÓN OFFSHORE DE GNL

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	OBRA CIVIL, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE LA TERMINAL.....	2
3	INSTALACIONES MECÁNICAS (EQUIPOS).....	3
4	INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	4
5	TUBERÍAS, VÁLVULAS, ACCESORIOS Y AISLAMIENTOS....	5
6	INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL	6
7	SEGURIDAD Y SALUD	7
8	VARIOS.....	8
9	PRESUPUESTO TOTAL.....	9

1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este documento es detallar las principales inversiones económicas que es preciso realizar para llevar a cabo la construcción de la terminal.

Los equipos necesarios para llevar a cabo el proceso industrial descrito en la Memoria del presente proyecto han de ser valorados económicamente para poder estimar los costes de construcción de la terminal y para, a priori, estimar la rentabilidad y los beneficios que se pueden obtener durante la operación de la planta.

El presupuesto global se divide en los siguientes presupuestos parciales:

- I. Obra civil, transporte e instalación de la terminal.
- II. Instalaciones mecánicas (Equipos).
- III. Instalación eléctrica.
- IV. Tuberías, válvulas, accesorios y aislamientos.
- V. Instrumentación y control.
- VI. Seguridad y salud.
- VII. Varios.

2 OBRA CIVIL, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE LA TERMINAL

En este apartado del presupuesto se recogen los precios de la construcción y puesta in-situ de la plataforma GBS, incluyendo todo lo referente a las instalaciones que luego albergarán a los equipos, edificaciones para habitabilidad y construcciones varias (sistemas de drenaje, duques de alba, muelle de atraque,...)

Tabla 2.1. Presupuesto parcial; Obra Civil, Transporte e Instalación de la terminal

Descripción	Unidad	Importe
Obra Civil:		
<i>Preparación de la construcción</i>		3.000.000 €
<i>Hormigón estructural de la GBS</i>		59.400.000 €
<i>Acero estructural de la GBS</i>		77.000.000 €
<i>Edificaciones industriales y de habitabilidad</i>	Partida Alzada	3.800.000 €
<i>Sistemas de drenaje</i>		2.200.000 €
<i>Sistemas de lastrado e inmovilización</i>		3.000.000 €
<i>Sistemas e infraestructuras de atraque</i>		5.200.000 €
Transporte y puesta in-situ		6.600.000 €
TOTAL I		160.200.000 €

3 INSTALACIONES MECÁNICAS (EQUIPOS)

En la Tabla 3.1 se muestran los costes de los equipos necesarios para la planta.

Tabla 3.1. Presupuesto parcial; Instalaciones Mecánicas (Equipos)

Descripción	Unidad	Importe por unidad	Importe
Brazos de descarga y retorno de vapor	4	1.500.000 €	6.000.000 €
Bombas Primarias (baja presión)	4	225.000 €	900.000 €
Compresores/sistema de BOG	3	1.250.000 €	3.750.000 €
Relicudador	1	200.000 €	200.000 €
Bombas Secundarias (alta presión)	4	380.000 €	1.520.000 €
Vaporizadores de Agua de Mar	2	2.700.000 €	5.400.000 €
Vaporizador de Combustión Sumergida	1	1.150.000 €	1.150.000 €
Intercambiadores de calor de carcasa y tubos	2	150.000 €	300.000 €
Bombas de agua de mar	3	520.000 €	1.560.000 €
Tanque de almacenamiento SPB	2	40.000.000 €	80.000.000 €
Separador de gotas	2	80.000 €	160.000 €
Otros			4.000.000 €
TOTAL II			104.940.000 €

4 INSTALACIÓN ELÉCTRICA

En este apartado se recogen los costes derivados de la instalación eléctrica necesaria para la alimentación eléctrica de los equipos de proceso y de todas las dependencias de la terminal, así como la instalación del tendido eléctrico.

Tabla 4.1. Presupuesto parcial; Instalaciones Eléctricas

Descripción	Unidad	Importe
Instalación eléctrica:		12.000.000 €
<i>Instalación de fuerza</i>		
<i>Subestaciones eléctricas</i>		
<i>Alumbrado y puesta a tierra</i>		
<i>Cableado en edificación</i>	Partida	
<i>Conexión de equipos consumidores</i>	Alzada	
<i>Tendido eléctrico y conexión a la línea insular</i>		
<i>Grupos autónomos de generación eléctrica</i>		
<i>Pruebas en planta</i>		
TOTAL III		12.000.000 €

5 TUBERÍAS, VÁLVULAS, ACCESORIOS Y AISLAMIENTOS

En este apartado se desglosan los costes relacionados con la compra e instalación de tuberías del complejo, así como todos los accesorios necesarios para su ensamble y operación. También se recoge en este apartado la partida de dinero destinada a la realización del gaseoducto de comunicación plataforma-tierra.

Tabla 5.1. Presupuesto parcial; Tuberías, Válvulas, Accesorios y Aislamientos

Descripción	Unidad	Importe
Coste de tuberías, incluyendo instalación		4.200.000 €
Válvulas, incluyendo instalación	Partida Alzada	3.100.000 €
Accesorios, incluyendo instalación		1.200.000 €
Coste de aislamiento de equipos y tuberías		2.800.000 €
Instalación de gaseoducto		75.000.000 €
TOTAL IV		86.300.000 €

6 INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

Los gastos derivados de la instrumentación y el control del proceso productivo se muestran en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Presupuesto parcial; Instrumentación y Control

Descripción	Unidad	Importe
Control e instrumentación:		9.200.000 €
<i>Materiales y equipos</i>		
<i>Cableado</i>		
<i>Montaje</i>	Partida Alzada	
<i>Interconexión</i>		
<i>Pruebas de funcionamiento</i>		
TOTAL V		9.200.000 €

7 SEGURIDAD Y SALUD**Tabla 7.1. Presupuesto parcial; Seguridad y Salud**

Descripción	Unidad	Importe
Dispositivos de seguridad y salud		2.000.000 €
<i>Elementos de protección individual</i>		
<i>Elementos de protección colectiva</i>		
<i>Sistemas de protección contra incendios</i>	Partida Alzada	
<i>Equipos de extinción de incendios</i>		
<i>Instalaciones de higiene y bienestar</i>		
<i>Formación de trabajadores</i>		
TOTAL VI		2.000.000 €

8 VARIOS**Tabla 8.1. Presupuesto parcial; Varios**

Descripción	Unidad	Importe
Gastos de tramitación		7.230.000 €
<i>Permisos</i>		
<i>Procedimientos administrativos</i>	Partida Alzada	
Gastos portuarios		
Otros		
TOTAL VII		7.230.000 €

9 PRESUPUESTO TOTAL

En la Tabla 9.1 se presenta el presupuesto total considerado para la instalación.

Tabla 9.1. Presupuesto total

	Descripción	Importe
I.	Obra civil, transporte e instalación de la terminal	160.200.000 €
II.	Instalaciones mecánicas (Equipos)	104.940.000 €
III.	Instalación eléctrica	12.000.000 €
IV.	Tuberías, válvulas, accesorios y aislamientos	86.300.000 €
V.	Instrumentación y control	9.200.000 €
VI.	Seguridad y salud	2.000.000 €
VII.	Varios	7.230.000 €
	TOTAL	381.870.000 €

El **Presupuesto Total** para la construcción y puesta en funcionamiento de este proyecto asciende a un total de **TRESCIENTOS OCHENTA Y UN MILLONES OCHOCIENTOS SETENTA MIL EUROS (381.870.000 €)**.

Ferrol, 01 de Junio de 2014

El autor del proyecto