



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado/Máster
CURSO 2021/22

***BUQUE TANKER LNG 140000 m³ Y DISEÑO DE UNA
PLANTA GENERADORA DE POTENCIA CON
TURBINA DE GAS Y CICLO REGENERATIVO***

Número 2122-TFG-73

**Programa de simultaneidad de ingeniería naval y oceánica e
ingeniería mecánica**

ALUMNA/O

Marina de la Peña Herrero

TUTORAS/ES

Pablo Fariñas Alvariño

Alberto Arce Ceinos

FECHA

2022

BUQUE TANKER LNG 140000 M3 Y DISEÑO DE UNA PLANTA GENERADORA DE POTENCIA CON TURBINA DE GAS Y CICLO REGENERATIVO. RESUMEN

En primer lugar, se desarrollará el proyecto de un buque tanker LNG. La particularidad de este buque es su carga, ya que requieren unas características muy concretas, debido a su temperatura, presión y flash point.

Una vez completado el proyecto de diseño del tanker de LNG, se desarrollará el diseño de una planta de potencia para la propulsión del buque, que se estima en un mínimo de 25 MW, basada en turbina de gas regenerativa empleando el propio LNG transportado como combustible. Esta turbina de gas regenerativa operará con dos compresores con una etapa de enfriamiento entre ambas compresiones y los gases de escape calientes se emplearán para precalentar el aire comprimido antes de entrar en la cámara de combustión.

En el diseño de esta planta de potencia se dimensionarán tanto en enfriador con agua de mar como del intercambiador gases-aire. Se compararán los resultados obtenidos en función de cómo los parámetros de diseño (relación de compresión, temperatura máxima, caudal de aire...) afecten a la eficiencia térmica de la planta. La comparación con turbina de gas simple y motor diésel se llevará a cabo en términos de eficiencia, coste y emisiones, estableciéndose las posibles ventajas e inconvenientes.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2021/22**

***BUQUE TANKER LNG 140000 m³ Y DISEÑO DE UNA
PLANTA GENERADORA DE POTENCIA CON
TURBINA DE GAS Y CICLO REGENERATIVO***

Número 2122-TFG-73

**Programa de simultaneidad de ingeniería naval y oceánica e
ingeniería mecánica**

Documento

**CUADERNO 13: PRESUPUESTO Y ESTUDIO DE LA VIABILIDAD
ECONÓMICA**

CONTENIDO

Buque tanker LNG 140000 m3 y diseño de una planta generadora de potencia con turbina de gas y ciclo regenerativo. Resumen	2
REQUISITOS PREVIOS DE OPERACIÓN. RPA.....	6
Introducción	7
1 Coste de construcción del buque	8
1.1 Costes de equipos y materiales	8
1.1.1 Casco	8
1.1.2 Equipos, instalaciones y armamento.....	10
1.1.3 Maquinaria.....	13
1.1.4 Instalación propulsora.....	13
1.1.5 Maquinaria auxiliar de la propulsión.....	14
1.1.6 Equipos auxiliares del casco.....	15
1.1.7 Equipos sanitarios	15
1.1.8 Residuos sólidos.....	15
1.1.9 Ventilación cámara de máquinas	15
1.1.10 Instalaciones especiales	15
1.2 Resumen costes equipos y materiales.....	17
2 Coste mano de obra.....	19
2.1 Coste del casco	19
2.1.1 Acero laminado y perfiles.....	19
2.1.2 Otros materiales del casco	19
2.1.3 Preparación de superficies	19
2.1.4 Timones y accesorios	20
2.2 Equipo, armamento e instalaciones	20
2.2.1 Amarre, fondeo y remolque	20
2.2.2 Salvamento.....	20
2.2.3 Habilitación	20
2.2.4 Fonda y hotel.....	20
2.2.5 Aire acondicionado	20
2.2.6 Medios contraincendios	20
2.2.7 Instalación eléctrica	21
2.2.8 Tuberías	21
2.3 Maquinaria auxiliar de cubierta	21
2.3.1 Equipo de gobierno.....	21
2.3.2 Equipo de amarre y fondeo.....	21

2.4 Maquinaria de propulsión.....	21
2.4.1 Máquina propulsora	21
2.4.2 Línea de ejes	21
2.4.3 Hélice	21
2.5 Maquinaria auxiliar de propulsión.....	21
2.5.1 Grupos electrógenos	21
2.5.2 Generador de emergencia	22
2.5.3 Sistemas de circulación y refrigeración.....	22
2.5.4 Sistemas de combustible	22
2.5.5 Equipos auxiliares del casco.....	22
2.5.6 Equipos sanitarios	22
2.5.7 Ventilación cámara de máquinas	22
2.5.8 Instalaciones especiales	22
2.6 Resumen costes de mano de obra	23
3 Costes de construcción y adquisición del buque	25
4 Beneficio industrial.....	26
5 Coste total. Coste de adquisición	27
6 Análisis del presupuesto de construcción del buque	28
7 Bibliografía.....	30

REQUISITOS PREVIOS DE OPERACIÓN. RPA

A continuación, se presentarán los requisitos previos iniciales en los que se basará el diseño del buque:

Tipo de buque

Buque Transporte de LNG - 140000 m³

Clasificación y cotas

SOLAS, CIG, Bureau Veritas, MARPOL

Características de la carga

Tanques membrana

Velocidad y autonomía

Velocidad servicio de 17,2 nudos, 85% MCR 10 MM. Autonomía 10.000 millas

Propulsión

Diesel eléctrico

Tripulación y pasaje

28 tripulantes

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este cuaderno es desglosar el coste de construcción del buque de proyecto y analizar las distintas opciones para el estudio de viabilidad del proyecto.

En la construcción de buques es una tarea difícil ya que, al construirse los buques en un periodo de tiempo largo, aparece el riesgo de inflación. Además, las expresiones utilizadas para los cálculos parten de aproximaciones.

A continuación, se muestran los parámetros que se utilizarán a lo largo del documento:

Parámetro	
Δ	109400 ton
Lpp	255,1
B	41,9
D	30
T	12,2
Cb	0,805
Cm	0,976
Cp	0,825
CW	0,87

El proceso a seguir será el siguiente:

- Coste de materiales y gastos del astillero vinculados
- Costes de mano de obra y gastos del astillero vinculados
- Beneficios y pagos del armador
- Estudio de viabilidad

1 COSTE DE CONSTRUCCIÓN DEL BUQUE

El coste de construcción con el que se lleva a cabo el presupuesto del buque consta de los siguientes puntos:

- Coste de equipos y materiales
- Coste de mano de obra
- Costes debidos a los gastos del astillero

Tras el cálculo del coste de construcción del buque se descuentan las ayudas en concepto de primas a la construcción naval y se le añade un porcentaje de beneficio industrial.

1.1 Costes de equipos y materiales

1.1.1 Casco

1.1.1.1 Acero laminado y perfiles

Se elige un acero laminado de calidad A, debido a que durante los últimos años el precio del acero naval se ha visto incrementado, se estima el coste unitario en 650 €/Ton

En el cuaderno 2 se calculó el peso del acero. Este valor indica el valor neto de acero en el buque, pero debido a los recortes, excesos y otros factores, el valor del peso bruto se incrementa en un 12 – 15%, por tanto:

$$P_{NetoAcero} = 27743,7 \text{ Ton (Dato del cuaderno 2)}$$

$$P_{BrutoAcero} = 1,12 * 27743,3 = 31072,5 \text{ Ton}$$

$$Coste_{Acero} = 31072,5 \text{ Ton} * \frac{650\text{€}}{\text{Ton}} = \mathbf{20197122,4 \text{ €}}$$

1.1.1.2 Piezas fundidas y forjadas

$$C_{FundForj} = 4 * L * T = 4 * 255,1 * 12,2 = \mathbf{12448,9 \text{ €}}$$

1.1.1.3 Timón y otros accesorios

$$C_{Timón} = 20 * L_{Timón}^2 * H_{Timón} = 20 * 3,6^2 * 11,6 = \mathbf{3006,72 \text{ €}}$$

Siendo,

- L, la longitud del timón, definida en el cuaderno 6
- H, la altura del timón, definida también en el cuaderno 6

1.1.1.4 Materiales auxiliares del casco

Este coste se estima por medio del libro anteriormente nombrado como 50 €/Ton del peso bruto del acero estructural calculado, por tanto:

$$C_{M.Aux} = 50 \frac{\text{€}}{\text{Ton}} * 31072,5 = \mathbf{1553625 \text{ €}}$$

1.1.1.5 Preparación de superficies

Se tienen en cuenta el granallado y la imprimación del casco, cuyo coste depende de la zona en la que se encuentre. Se tomarán los siguientes valores:

- 2 €/m² para la imprimación
- 8 €/m² para el granallado de superficies exteriores

- y 15 €/m² para el granallado de superficies internas

Para este cálculo se necesitará conocer el área de superficie externa, la cual coincide con el área del casco del buque, para ello se utilizará Maxsurf, que estableciendo un calado mayor que el puntal, calcula un área mojada que coincide con el área exterior del buque:

$$S_{Externa} = 33184,3 \text{ m}^2$$

El coste de preparación de superficies externas es:

$$C_{S.Ext} = S_{Externa} * (8 + 2) = \mathbf{331843 \text{ €}}$$

La superficie interna del casco se estima al mismo valor que el calculado como superficie exterior. Resultando el coste de preparación de superficie interna:

$$C_{S.Int} = S_{Interna} * (15 + 2) = \mathbf{564133,1 \text{ €}}$$

1.1.1.6 Pintura y galvanizado

Se consideran los costes referentes a la obra viva, obra muerta, interior, tuberías.

1. COSTE OBRA VIVA:

$$C_{ObraViva} = e * S * 0,011 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} = 300 * 14618,24 * 0,011 = \mathbf{48240,2 \text{ €}}$$

Siendo,

- E, el espesor de la pintura que se estima. Se utilizará pintura epoxy y autopulimentante.
- S, la superficie de la obra viva, dato obtenido de Maxsurf.

2. OBRA MUERTA:

Se estima mediante datos de Maxsurf la superficie de la obra muerta:

$$S_{ObraMuerta} = S_{Externa} - S_{ObraViva} = 33184,3 - 14618,2 = 18566,1 \text{ m}^2$$

$$C_{ObraViva} = e * S * 0,011 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} = 300 * 18566,1 * 0,011 = \mathbf{61268,13 \text{ €}}$$

Siendo,

- E, el espesor de la pintura que se estima. Utilizará pintura epoxy y pintura de clorocaucho.

3. PINTURA INTERIOR DEL CASCO

Se utiliza de nuevo pintura epoxy.

$$C_{S.Int} = S_{Int} * E * C = 33184,3 * 100 * 0,011 = \mathbf{36502,7 \text{ €}}$$

4. PINTURA DE TUBERIAS

$$C_{Tub} = 0,18 * (0,057 * BHP + 0,18 * L) * K = \mathbf{1956 \text{ €}}$$

Siendo,

- K, un factor que depende del tipo de pintura, siendo en el caso proyectado 4,8. Se utiliza pintura Zinc-Epoxy.
- L, eslora del buque
- BHP, potencia al freno calculada en cuadernos anteriores.

5. GALVANIZADO Y CEMENTADO

Se estima al 7,5% del coste total de la pintura calculado en los puntos anteriores:

$$C_{Galv} = 0,075 * (1956 + 36502,7 + 61286,13 + 48240,2) = \mathbf{11098,9 \text{ €}}$$

6. PROTECCIÓN CATÓDICA

En función de la obra viva del buque:

$$C_{PCatódica} = 1,55 * S_{ObraViva} = 1,55 * 14618,2 = \mathbf{22658,2 \text{ €}}$$

1.1.2 Equipos, instalaciones y armamento

1.1.2.1 Equipos de amarre, fondeo y remolque

1. ANCLA

Se estiman 2500 € por tonelada. En el cuaderno 12 se estimaron el número de anclas y el peso de cada una de ellas:

$$C_{Anclas} = N * P * 2500 = 3 * 13,5 * 2500 = \mathbf{101250 \text{ €}}$$

2. CABLES, CADENAS Y ESTACHAS

$$C_{CCE} = 0,015 * K * d^2 * L_c = 0,015 * 0,305 * 102^2 * 600 = \mathbf{28559 \text{ €}}$$

Siendo,

- K, factor correspondiente a aceros de alta resistencias
- D, el diámetro de la cadena, definido en el cuaderno 12
- Lc, longitud de las cadenas, definido también en el cuaderno 12.

1.1.2.2 Medios de salvamento

1. BOTES SALVAVIDAS

$$C_{Botes} = N * K * N_{Personas}^{\frac{2}{3}} = 2 * 4500 * 28^{\frac{2}{3}} = \mathbf{82987,9 \text{ €}}$$

Siendo,

- N el número de botes
- K, el coste unitario por bote salvavidas cerrado, con motor y contraincendios
- N personas, numero de personas a bordo.

2. BALSAS SALVAVIDAS

$$C_{Balsas} = N * K * N_{Personas}^{\frac{1}{3}} = 3 * 1200 * 28^{\frac{1}{3}} = \mathbf{10931,7 \text{ €}}$$

Siendo,

- N el número de balsas
- K, el coste unitario por balsa
- N personas, número de personas que pueden ir en la balsa.

3. DISPOSITIVOS INDIVIDUALES DE SALVAMENTO

En este apartado se tendrá en cuenta el coste de aros, chalecos, señales y otros elementos.

$$C_{Otros} = 2500 + 30 * N^{\circ}Tripulación = \mathbf{3340 \text{ €}}$$

1.1.2.3 Habilitación

$$C_{Hab} = K_{Hab} * S_{Hab} = 400 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} * 2841,6 = 1136640 \text{ €}$$

Siendo,

- K, coeficiente en función de la calidad de la habilitación
- S, superficie de la habilitación restando las gambuzas.

Para estimar el coste de las horas de instalación se emplea la ratio de 16 h/m², con un coste de 30 €/m², resultando 1363968.

Finalmente,

$$C_{Hab} = \mathbf{2500608 \text{ €}}$$

1.1.2.4 Equipos fonda y hotel

1. COCINA

$$C_{Cocina} = K * N = 420 * 28 = \mathbf{11760 \text{ €}}$$

Siendo,

- K, coeficiente sobre el coste de persona a borda. Para buques oceánicos se estima en 420
- N, número de tripulantes

2. GAMBUZAS FRIGORÍFICAS

$$C_{GF} = 1800 * V^{\frac{2}{3}} = 1800 * 97,5^{\frac{2}{3}} = \mathbf{38130,8 \text{ €}}$$

Siendo,

- V, el volumen total del espacio

3. LAVANDERIA

El coste por tripulante abordo es de 240 €, por tanto:

$$C_{Lavanderia} = 240 * 28 = \mathbf{6720 \text{ €}}$$

1.1.2.5 Aire acondicionado

$$C_{AC} = 60 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} * S_{Hab} = 60 * 2841,6 = \mathbf{170496 \text{ €}}$$

1.1.2.6 Equipos de navegación y comunicación

Equipo	Coste
Compas magnéticos	2700
Compas giroscópicos	42000
Piloto automático	6000
Radar movimiento verdadero	51600
Radar movimiento relativo	15000
Radiogoniómetro	7800
Receptor de cartas	4800

Sonda	4200
Corredera	7800
Sistema de navegación por satélite	7200
TOTAL	149100

Los equipos auxiliares a la navegación presentan un 8% del total calculado, por tanto:

$$C_{AuxNav} = 0,08 * 149100 = 11208 \text{ €}$$

Además, los equipos para la comunicación externa, como telegrafía, telefonía y comunicación por satélite, el coste de esta ronda entre 48000 y 120000 €

$$C_{ComExt} = 100000 \text{ €}$$

De la misma forma ocurre con las comunicaciones internas, equipos como altavoces, telégrafos auto generadores y automáticos. El coste de ellos ronda entre los 12000 y 36000 €

$$C_{ComInt} = 20000 \text{ €}$$

Finalmente, el coste de los equipos de navegación y comunicación resulta:

$$C_{NAVCom} = \mathbf{280208 \text{ €}}$$

1.1.2.7 Medios contraincendios

1. INSTALACIONES EN CÁMARA DE MÁQUINAS

$$C_{CMCC} = 8,4 * L_{CM} * B * D_{CM} = 8,4 * 28 * 41,9 * 30 = \mathbf{295646,4 \text{ €}}$$

2. INSTALACIONES EN CUBIERTA

$$C_{CCC} = 11 * (1 + 0,0013 * L) * L * B = \mathbf{156567,2 \text{ €}}$$

3. ROCIADORES

$$C_{Roc} = 4 * Sh = \mathbf{7528 \text{ €}}$$

4. DETECTORES EN CÁMARA DE MÁQUINAS

$$C_{Detectores} = 8 * K1 * L_M * D_M * B + 1224 * K2 * N_{CH} = \mathbf{288912 \text{ €}}$$

1.1.2.8 Instalación eléctrica

$$C_{IE} = 481 * Pot^{0,77} = 481 * 57600^{0,77} = \mathbf{2226744,5 \text{ €}}$$

refiriéndonos a la potencia como la potencia instalada a bordo definida en el cuaderno 11.

1.1.2.9 Tuberías

$$C_{Tub} = 2705 * (0,015 * L_{CM} * B * D_{CM} + 0,18 * L) + K_t * BHP + 1,5 * (3 * L_{CM} * B * D_{CM} + Q_B + 4 * S_{Hab}) = \mathbf{2144665,1 \text{ €}}$$

1.1.2.10 Accesorios de equipos, armamentos e instalaciones

1. PUERTAS, VENTANAS Y PORTILLOS

$$c_{pvv} = 2705 * N^{0,48} = \mathbf{13390,7 \text{ €}}$$

2. ESCALERAS, PASAMANOS Y CANDELEROS

$$C_{EPC} = 22,2 * L^{1,6} = \mathbf{157430,8 \text{ €}}$$

3. ESCOTILLAS DE ACCESO, LUMBRERAS Y REGISTROS

$$C_{ELR} = 12,6 * L^{1,5} = \mathbf{51337,7 \text{ €}}$$

4. ACCESORIO DE FONDEO Y AMARRE

$$C_{AF} = e^{3,1} * 6 * (L * (B + D))^{0,815} = \mathbf{397344,5 \text{ €}}$$

5. ESCALA REAL, PLANCHA DE DESEMBARCO Y ESCALAS DE PRÁCTICO

$$C_{ERP} = 320 + 255 * (D - 0,03 * L) * N_{er} = \mathbf{11716,9 \text{ €}}$$

Considerando $N_{er} = 2$, que es el número de escalas reales.

6. TOLDOS, FUNDAS Y ACCESORIOS DE ESTIBA DE RESPETOS

$$C_{ERP} = 40 * (L * (B + D))^{0,68} = \mathbf{221907,1 \text{ €}}$$

1.1.3 Maquinaria

1.1.3.1 Equipo de gobierno

1. SERVOMOTOR

$$C_{SM} = 3700 * M^{\frac{2}{3}} = \mathbf{223888,2 \text{ €}}$$

Considerando M como la potencia del servomotor, calculado en el cuaderno 6, 470,7 kW.

1.1.3.2 Equipo de amarre y fondeo

1. MOLINETES

$$C_{Molinete} = 300 * d^{\frac{1}{3}} * n = 300 * 102^{\frac{1}{3}} * 2 = \mathbf{2803,4 \text{ €}}$$

Siendo,

- D el diámetro de la cadena
- N, el número de molinetes, definido en el cuaderno 12

2. CHIGRES

$$C_{chigr} = n * 7800 * T a^{\frac{2}{3}} = \mathbf{397462,4 \text{ €}}$$

Siendo $T a$ la tracción del chigre, calculada en el cuaderno 12, y n el número de chigres instalados, definido también en el cuaderno 12.

1.1.4 Instalación propulsora

1.1.4.1 Grupos electrógenos

$$C_{Gen} = 40 * N c^{0,85} * \frac{D^{2,2}}{RPM^{0,75}} * N = \mathbf{13102440,3 \text{ €}}$$

Siendo,

- Nc el número de cilindros del motor, 12 cilindros
- D el diámetro de los cilindros, 580 mm
- RPM las revoluciones de trabajo del motor, 600 rpm
- N el número de motores generadores instalados, 4 generadores

1.1.4.2 Motor propulsor

$$C_M = 2400 * \left(\frac{kW}{rpm} \right)^{\frac{2}{3}} = 36789,9 \text{ €}$$

Las revoluciones de trabajo para la potencia máxima que debe entregar el motor propulsor se definieron en el cuaderno 6.

1.1.4.3 Reductora

En el cuaderno 6 se indicó la necesidad de la reductora ya que las revoluciones optimas de trabajo del motor y de la hélice eran distintas, su coste se estima a partir de su peso, 10 Toneladas:

$$C_R = 25000 * Peso^{0,5} = 79057 \text{ €}$$

1.1.4.4 Otros

1. ACOPLAMIENTOS

$$C_{Acoplamiento} = 1700 * \frac{BHP}{RPM} = 102000 \text{ €}$$

2. EJES Y CHUMACERAS

$$C_{eje} = 3,6 * BHP = 108000 \text{ €}$$

3. BOCINAS Y CIERRES

$$C_{Bocina} = 7,515 * BHP^{0,85} = 48026,6 \text{ €}$$

4. HÉLICE

Su coste se estima a partir del peso. Teniendo en cuenta 8000€/Ton y hélice de 8 Toneladas:

$$C_{Hélice} = 64000 \text{ €}$$

1.1.5 Maquinaria auxiliar de la propulsión

1.1.5.1 Sistema de circulación y refrigeración

$$C_R = 600 + (K1 + K2) * BHP = 69240 \text{ €}$$

Siendo, K1 =2,4 y K2=0.

1.1.5.2 Sistema aire de arranque

$$C_A = 78 * N_{Comp} * Q_{Comp} = 5616 \text{ €}$$

Teniendo en cuenta 12 compresores y un caudal de 6 m3/h.

1.1.5.3 Sistema de combustible

1. MANEJO DE COMBUSTIBLE

$$C_C = 44 * N_{BT} * Q_{BT} + 2,1 * BHP = 63808,8 \text{ €}$$

Considerando 2 bombas de trasiego con un caudal de 42,6 m3/h cada una, según se definió en el cuaderno 10.

2. MANEJO DE LODOS

$$C_L = 2000 \text{ € (Se estima)}$$

3. PURIFICACIÓN DE COMBUSTIBLE

$$C_P = 1000 + 0,2 * BHP = 6720 \text{ €}$$

4. TRATAMIENTO CON ADITIVOS

$$C_A = 24 * BHP^{\frac{2}{3}} = 22445,1 \text{ €}$$

1.1.6 Equipos auxiliares del casco

1.1.6.1 Bombas de lastre, contraincendios, sentinas y otros servicios

$$C_{Bombas} = 600 * K1 * Q_{BS}^{\frac{1}{3}} + 960 * K2 * Q_{CI}^{\frac{1}{3}} + 960 * K3 * Q_{CI}^{\frac{1}{3}} + 1100 * K4 * Q_{BS} = 610929,2 \text{ €}$$

Los coeficientes K dependen del arqueado del buque, calculado en el cuaderno 9, GT = 87337,81 Ton:

GT	<150	<1000	...<2000	<4000	>4000
K1	1	2	... 2	2	...3
K2	1	2	... 2	2	...3
K3	0	0	... 2,5	4	...4
K4	0	0	... 1	1	...1

El caudal de las distintas bombas se calculó en el cuaderno 12, y a continuación se recuerda su valor:

- Bomba de sentinas, 508,9 m³/h
- Bomba contraincendios, 163,8 m³/h

1.1.6.2 Separador de sentinas

$$C_{SS} = 156 * GT^{0,5} + 5100 = 51202,6 \text{ €}$$

1.1.7 Equipos sanitarios

1.1.7.1 Generador de agua dulce

$$C_{AD} = 1380 * Q_{AD} = 11040 \text{ €}$$

El caudal del generador de agua dulce es 8 Ton/día, definido en el cuaderno 12.

1.1.7.2 Tratamiento de aguas residuales

$$C_{TAR} = 2640 * N^{0,4} = 10010,8 \text{ €}$$

Siendo N el número de tripulantes.

1.1.7.3 Grupos hidróforos

$$C_h = 660 * N^{0,5} = 3492,4 \text{ €}$$

1.1.8 Residuos sólidos

$$C_{RS} = 11400 * N^{0,2} = 22199,2 \text{ €}$$

1.1.9 Ventilación cámara de máquinas

$$C_{V_{CM}} = 7,5 * n^{\circ}Ventilador * Q_V^{0,5} + 5,52 * K_f * BHP^{0,5} = 2309,3 \text{ €}$$

- El número de ventiladores, 10 ventiladores
- Caudal necesario en cámara de máquinas, 336,5 m³/s
- Kf es un coeficiente dependiente del combustible usado, en este caso Kf=1

1.1.10 Instalaciones especiales

1.1.10.1 Servicios de carga

Se aproxima a partir de las ecuaciones que se definen para buques refrigerados de LPG, por se los mas similares al buque proyectado.

1. TANQUES

$$C_{Tanque} = 63 * Q_M^{0,975} = \mathbf{7024286,1€}$$

Siendo QM la capacidad total de los tanques definido en el cuaderno 4.

El aislamiento de los tanques también se estima a partir de la capacidad:

$$C_{Aislamiento} = 660 * Q_M^{\frac{2}{3}} = \mathbf{1864937 €}$$

El soporte de los tanques:

$$C_{SOP} = 38,1 * Q_M^{0,82} = \mathbf{669580,6 €}$$

2. BOMBAS DE DESCARGA

$$C_{BD} = 30 * K1 * K2 * Q_B^{0,82} * H_D^{0,35} * N_B = \mathbf{917610,4 €}$$

Siendo,

- K1 = 1 según el accionamiento
- K2 = 2 por el materia
- QB = 1590 m3/h, calculado en el cuaderno 12 el caudal de las bombas
- HD= 35
- Nb el numero de bombas, 8 bombas según el cuaderno 12

3. EQUIPOS DE LIMPIEZA DE TANQUES

$$C_L = 6 * L * B = \mathbf{64132,1€}$$

4. TUBERIAS DE CARGA Y DESCARGA

Se estima en 1/3 del coste de las bombas de descarga, por tanto:

$$C_{Tub} = \mathbf{305870,1 €}$$

1.1.10.2 Instalaciones de control, alarma y automatización

1. SALAS DE CONTROL

$$C_{cc} = 1080 * S_{cc}^{0,85} = \mathbf{76011,6 €}$$

Siendo Scc los metros cuadrados dedicados al control de carga, medido de los planos del cuaderno 7, existe sala de control de carga en 3 cubierta, con 49,8 m2 cada una.

2. AUTOMATIZACIÓN

$$C = 3240 * K1 * BHP^{\frac{1}{3}} = \mathbf{143977,3 €}$$

3. OTROS

El resto de los equipos se estima a partir de otros buques, estimando este coste en **30000€**.

1.1.10.3 Instalaciones y equipos contraincendios

1. INSTALACIONES CI DE CARÁCTER ESTRUCTURAL

$$C_{CC_{Especial}} = 4600 + 5,5 * S_H$$

Siendo, SH la superficie de la habilitación sin contar con gambuzas y cámaras.
2841,6 m²

$$C_{CC_{Especial}} = \mathbf{20228,8 €}$$

1.1.10.4 Instalaciones y equipos de seguridad

Planta de generación de gas inerte

$$C_{GI} = 9000 * Q_{GI}^{0,38} = 347661.97 \text{ €}$$

Siendo,

- QGI = 15000 Nm/h. Capacidad de esta planta generadora

1.2 Resumen costes equipos y materiales

Equipos y materiales	
Casco	
Acero y perfiles	20197122,4
Fundidos y forjados	12448,9
Timon y accesorios	3006,72
Materiales auxiliares	1553625
Preparación superficies	895976,1
Pintura y galvanizado	181724,13
Equipos , instalaciones y armamento	
Amarre, fondeo y remolque	129809
Salvamento	97259,6
Habilitación	2500608
Equipos fonda y hotel	56610,8
Aire acondicionado	170496
Navegación y comunicación	280208
Medios CI	748653,6
Instalación eléctrica	2226744,5
Tuberías	2144665,1
Accesorios de equipos	853127,7
Maquinaria	
Equipo de gobierno	223888,2
Amarre y fondeo	400265,8
Instalación propulsora	
Grupos electrógenos	13102440,3
Motor propulsor	36789,9
Reductora	79057
Otros	322026,6
Maquinaria auxiliar de propulsión	
Circulación y refrigeración	69240
Aire de arranque	5616
Sistema de combustible	94973,9
Equipos auxiliares	
Bombas	610929,2
Separador sentinas	51202,6
Equipos sanitarios	
Generador agua dulce	11040

TAR	10010,8
hidroforo	3492,4
Residuos sólidos	22199,2
Ventilacion cámara de maquinas	2309,3
Instalaciones especiales	
Servicios de carga	10846416,3
Control, alarma, automatización	249988,9
Instalación CI	20228,8
Instalación seguridad	347661,97
TOTAL	58561862,72

2 COSTE MANO DE OBRA

Para llevar a cabo la aproximación de este coste se estimarán las horas de trabajo totales necesarias para la construcción del buque. Después, tomando como salario medio 30 €/h, teniendo en cuenta el sueldo y otros gastos indirectos, se obtendrá el coste total de mano de obra.

2.1 Coste del casco

2.1.1 Acero laminado y perfiles

Depende de distintos factores, en primer lugar, el peso del acero estructural, en segundo lugar, las formas del casco y bulbo.

$$H_{AP} = P_{AC} * K_{BA} * \left(1 + K_f * (1 - C_F)\right) * (1 + K_B)$$

Siendo,

- P_AC el peso del acero estructural, dato del cuaderno 2, 27743.66 Toneladas
- K_BA el índice de mano de obra de casco, en horas/Tonelada. Por lo general, entre 20 y 100 h/Ton, se escoge la media, 60 h/ton
- K_F el coeficiente de forma, 0.3.
- C_F se toma el coeficiente de bloque del buque. 0.8.
- K_B el índice del bulbo, 0.04.
- K_E el índice de complejidad del acero, en este caso es 0
- C_E el coeficiente de peso de acero especial, también igual a 0
- K_C el coeficiente de número de cubiertas, 0.05
- N_C el número de cubiertas de cámara de máquinas y zonas externas. 5 cubiertas.

Resultando,

$$H_{AP} = 1835076.65 \text{ horas}$$

2.1.2 Otros materiales del casco

En este apartado se incluyen las horas dedicadas a piezas fundidas, forjadas y aluminio.

Para buques de una hélice, como es el caso:

$$H_{pf} = 25 + 30 * L^{\frac{1}{3}} * D * K1$$

Siendo,

- K1 toma el valor de 1 ya que el buque cuenta con una sola hélice
- L es la eslora de escantillonado, 251.2 m
- D es el calado de escantillonado, 12.3 m

Resulta,

$$H_{pf} = 2353.27 \text{ horas}$$

2.1.3 Preparación de superficies

Este apartado es referido a las horas de mano de obra dedicadas a la pintura y corrosión, se estiman a partir de la siguiente ecuación:

$$H_{PC} = 0.25 * S_{OM} + (1 + 0.3 * N_{OM}) + 0.35 * S_{OV} * \frac{N_{OV}}{4} + 0.4 * SI * NI$$

Siendo,

- SOM la superficie de la obra muerta, definida anteriormente como 18566.1 metros cuadrados
- SOV la superficie de la obra viva, definida como 14618.24 metros cuadrados
- NI es la superficie interior, indicada también anteriormente, 33184.3 metros cuadrados
- NOM, NI y NOV son las manos de pintura que se le aplican, se considerará 3.

Resultando

$$H_{PC} = 12301.9 \text{ horas}$$

2.1.4 Timones y accesorios

$$H_T = 100 * N_T * L_T * H_t = 5260.5 \text{ horas}$$

Siendo,

- Nt = 1, el número de timones
- Lt = 5.01 m, la longitud de timón
- Ht = 10.5 m, la altura del timón, dato del cuaderno 6

2.2 Equipo, armamento e instalaciones

2.2.1 Amarre, fondeo y remolque

$$H_{AFr} = 27 * (N_{Anclas} * P_{Ancla})^{0.4} = 27 * (3 * 13.5)^{0.4} = 105.5 \text{ horas}$$

2.2.2 Salvamento

Se estima en función del número de tripulantes, en el caso proyectado 28.

$$H_S = 300 + 1.5 * 28 = 342 \text{ horas}$$

2.2.3 Habilitación

Se estima en función de la superficie de la habilitación, definido en apartados anteriores, 2841.6 m², y teniendo en cuenta 16 h/m²:

$$H_{Hab} = 16 \frac{h}{m^2} * 2841.6 m^2 = 45465.6 \text{ horas}$$

2.2.4 Fonda y hotel

Se calcula en función del número de tripulantes:

$$H_{FH} = 115 * N = 115 * 28 = 3220 \text{ horas}$$

2.2.5 Aire acondicionado

En función de la superficie de la habilitación:

$$h_{AC} = 2 * S_{Hab} = 2 * 2841.6 m^2 = 5683.2 \text{ horas}$$

2.2.6 Medios contraincendios

Se estima en función de la eslora del buque:

$$H_{CI} = 5.5 * L = 5.5 * 255.1 = 1403.05 \text{ horas}$$

2.2.7 Instalación eléctrica

En función de la superficie de la habilitación y la potencia total instalada a bordo del buque:

$$h_{IE} = 4 * S_{Hab} + 6 * kW = 4 * 2841.6 + 6 * 57600 = 356966.4 \text{ horas}$$

2.2.8 Tuberías

$$H_{Tub} = 11 * BHP^{0.35} = 11 * 26471.8^{0.35} = 388.5 \text{ horas}$$

2.3 Maquinaria auxiliar de cubierta

2.3.1 Equipo de gobierno

Se estima a partir de la eslora del buque:

$$H_G = 33 * L^{\frac{2}{3}} = 33 * 255.1^{\frac{2}{3}} = 1327.4 \text{ horas}$$

2.3.2 Equipo de amarre y fondeo

Se utiliza la siguiente ecuación para su estimación:

$$H_{FA} = L * (1.75 * N_{Mo} + 1.6 * N_{Ch} + 1.7 * N_{Ma})$$

Siendo,

- NMo el numero de molinetes, definido en el cuaderno 12, 2.
- NCh es el numero de chigres, definido en el cuaderno 12 como 6.
- NMa es el número de maquinillas, se instala 6.

Resultando,

$$h_{FA} = 5943.83 \text{ horas}$$

2.4 Maquinaria de propulsión

2.4.1 Máquina propulsora

$$H_{MP} = 10 * BHP^{\frac{2}{3}} * N_{MP} = 10 * 30000^{\frac{2}{3}} * 1 = 9564.9 \text{ horas}$$

2.4.2 Línea de ejes

$$H_{LE} = K * BHP * N$$

K toma el valor de 0.85 para buques que cuenta con reductora, como es el caso del buque proyectado.

$$H_{LE} = 25500 \text{ horas}$$

2.4.3 Hélice

$$H_H = K1 + K2 * BHP * N_H$$

K1 toma el valor de 240 para hélices de paso fijo, K2 toma el valor de 0.004 para hélices de paso fijo. Finalmente, resulta:

$$H_H = 360 \text{ horas}$$

2.5 Maquinaria auxiliar de propulsión

2.5.1 Grupos electrógenos

$$H_{GE} = 52 * N_G * KW^{0.43}$$

A bordo existen 4 motores generadores con una potencia de 14400 kW cada uno.
Resultando:

$$H_{GE} = 12769.1 \text{ horas}$$

2.5.2 Generador de emergencia

$$H_{GE} = 52 * N_G * KW^{0.43} = 52 * 1 * 730^{0.43} = 885.6 \text{ horas}$$

2.5.3 Sistemas de circulación y refrigeración

$$H_{CR} = 230 + 0.18 * BHP = 10598 \text{ horas}$$

2.5.4 Sistemas de combustible

Dependerá de la potencia de propulsora y también del tipo de combustible.
Considerando un combustible pesado $k = 0.27$.

$$H_{MC} = K * BHP = 15552 \text{ horas}$$

El sistema de purificación del combustible:

$$H_{Pur} = (Ke + 0.056 * BHP) * (NPA + NPD + NFD)$$

Siendo,

- KE toma el valor de 300 para combustibles pesados
- NPA, NPD y NFD toma el valor de 2.

Resultando:

$$H_{Pur} = 21153.6 \text{ horas}$$

2.5.5 Equipos auxiliares del casco

En función de eslora, manga y puntal del buque:

$$H_{Aux} = 420 + 0.47 * L * (B + D) = 420 + 0.47 * 255.1 * (41.9 + 30) = 90240.6 \text{ horas}$$

2.5.6 Equipos sanitarios

$$H_{ES} = K1 * (280 + 8 * QA) + K2 * (200 + 3.5 * N) + K3 * (410 + 3.9 * N) + 400 * K4$$

Siendo,

- K1 = 1, porque existe generador de agua dulce
- K2 = 1 por existir grupo hidroforo
- K3 = 1 porque existe a bordo tratamiento de aguas fecales
- K4 = 1 porque existe incinerador de residuos
- Qa es la capacidad del generador de agua dulce, definido en el cuaderno 12.
- N = 28 el número de tripulantes

Resulta,

$$H_{ES} = 1561.2 \text{ horas}$$

2.5.7 Ventilación cámara de máquinas

$$H_V = 1400 + 0.005 * BHP = 1688 \text{ horas}$$

2.5.8 Instalaciones especiales

2.5.8.1 Bombas descarga

$$H_B = 210 * K1 * K2 * NB = 1848 \text{ horas}$$

Siendo,

- K1 = 1.1 para bombas centrifugas
- K2 = 1 para el caso de accionamiento eléctrico
- NB = 8, según se indicó en cuadernos anteriores

2.5.8.2 Limpieza espacios de carga

$$H_{LC} = 0.15 * B * L^{1.05} = 0.15 * 41.9 * 255.1^{1.05} = 2115.2 \text{ horas}$$

2.5.8.3 Tuberías y válvulas de carga

Se estiman en un 17% de las horas dedicadas a las bombas de descarga

$$H_{TV} = 314.36 \text{ horas}$$

2.5.8.4 Instalaciones fijas CI estructurales

$$H_{CI_{EST}} = 1000 + 0.4 * Sh = 1000 + 0.4 * 2841.6 = 2136.7 \text{ horas}$$

2.5.8.5 Instalaciones fijas CI en cubierta

$$H_{CI_{CUB}} = 0.39 * L^{1.1} * B = 7256 \text{ horas}$$

2.5.8.6 Detectores en cámara de máquinas y alojamiento

$$H_D = 65 * K1 * (L_{CM} * D_{CM} * B)^{0.25} + 80 * K2 * NCH = 1290.3 \text{ horas}$$

Siendo,

- K1 = K2 = 1, se instalan detectores tanto en la cámara de máquinas como en la habitación.
- LCM = 28 metros, eslora de la cámara de máquinas
- DCM = 30 metros, es el puntal de la cámara de máquinas
- B = 41.9 metros, eslora del buque
- NCH = 5, numero de cubiertas de alojamiento.

2.6 Resumen costes de mano de obra

Teniendo en cuenta un coste de 30 euros por hora trabajada, y a partir de todas las horas de mano de obra calculadas a lo largo de apartado 2, se obtienen los siguientes resultados:

Mano de obra	
Casco	
Acero y perfiles	1835076,7
Otros materiales	2353,27
Preparacion de superficies	12301,9
Timón y accesorios	5260,5
Equipos , instalaciones y armamento	
Amarre, fondeo y remolque	105,5
Salvamento	342
Habitación	45465,6
Equipos fonda y hotel	3220
Aire acondicionado	5683,2
Medios CI	1403,05
Instalación eléctrica	356966,4

Tuberías	388,5
Tuberías	388,5
Maquinaria	
Equipo de gobierno	1327,4
Amarre y fondeo	5943,83
Instalación propulsora	
Línea de ejes	25500
Motor propulsor	9564,9
Hélice	360
Grupos electrógenos	12769,1
Generador de emergencia	885,6
Maquinaria auxiliar de propulsión	
Circulación y refrigeración	10598
Sistema de combustible	21153,6
Equipos auxiliares	90240,6
Equipos sanitarios	1561,2
Ventilación cámara de máquinas	1688
Instalaciones especiales	
Servicios de carga	1848
Limpieza espacios de carga	2115,2
Instalación CI	10683
Tuberías y válvulas	314,36
TOTAL HORAS	2374878,81
TOTAL €	71246364,3

3 COSTES DE CONSTRUCCIÓN Y ADQUISICIÓN DEL BUQUE

El coste de construcción es la suma de los costes de materiales y equipos, los gastos directos y los costes de mano de obra:

$$CC = C_{\text{Equipos, materiales y gastos directos}} + C_{\text{Mano de obra}}$$

$$CC = 58561862.72 + 71246364.3 = \mathbf{129808227 \text{ €}}$$

A este valor calculado se han de añadir los gastos del astillero:

- Gastos de ingeniería: Proyectos contratados al exterior, ensayos o estudios
- Clasificación, reglamentos y certificados referidos a Sociedades de clasificación, inspección de buques o Colegio de ingenieros navales.
- Pruebas y garantía: Varada, ensayos, botadura, garantía, supervisores, etc.
- Armador y entrega: maqueta
- Servicios auxiliares de la construcción: Andamios, instalación de fuerza, luminaria o mantenimiento.
- Seguro de construcción

Estos gastos se aproximan al 2% del coste total del buque:

$$G = 0.02 * CC = 0.02 * 129808227 = 2596164.5 \text{ €}$$

Por tanto, el coste total del buque resulta:

$$C_{\text{Buque}} = CC + G = 129808227 + 2596164.5$$

$$C_{\text{Buque}} = \mathbf{132404391.5 \text{ €}}$$

4 BENEFICIO INDUSTRIAL

El beneficio industrial es el porcentaje del coste total de construcción que se modifica según la situación del mercado, es decir, que se rige por ciclos. Este valor indica el beneficio del astillero.

Cuando la demanda es elevada, esto supone incluso más del 20%, en cambio, cuando la demanda es inferior a la demanda puede ser negativo. En buques grandes, el beneficio puede oscilar entre el 7 – 10%. En el proyecto que se lleva a cabo se tomará el 8%.

$$\text{Beneficio Industrial} = 0.08 * C_{\text{Buque}} = 0.08 * 132404391.5$$

$$\text{Beneficio Industrial} = 10592351.3 \text{ €}$$

5 COSTE TOTAL. COSTE DE ADQUISICIÓN

El coste total es la suma del coste de construcción y el beneficio industrial. Resulta:

$$C_{Total} = C_{Buque} + Beneficio Industrial = 132404391.5 + 10592351.3$$

$$C_{Total} = \mathbf{142996742.8 \text{ €}}$$

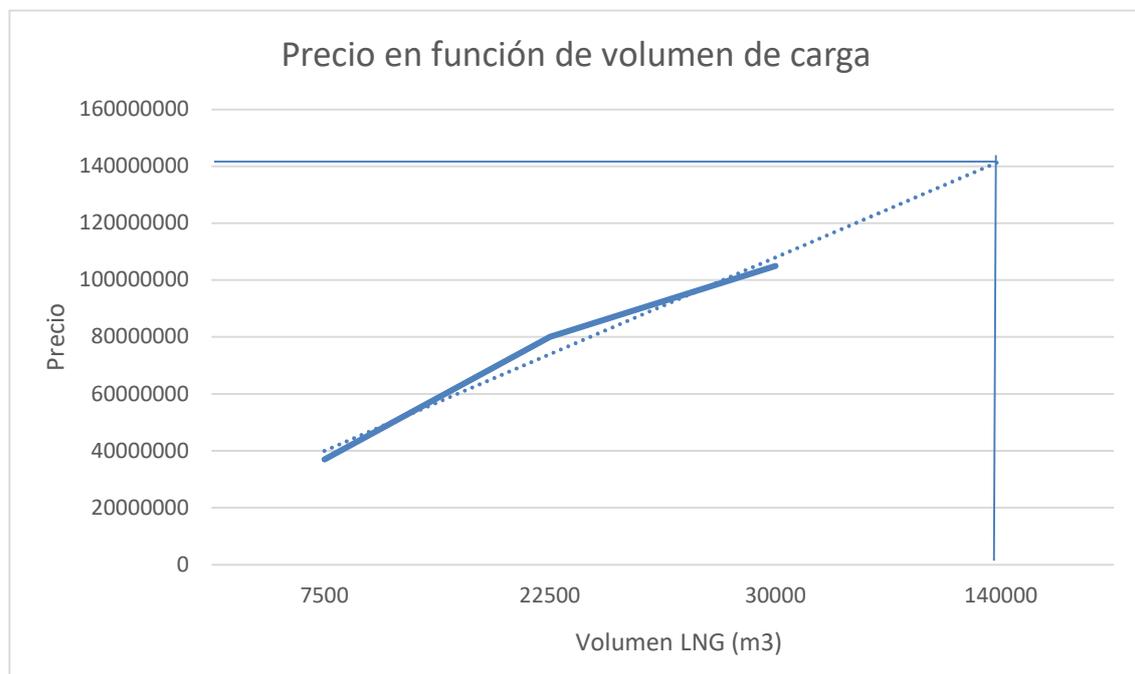
6 ANÁLISIS DEL PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN DEL BUQUE

En el siguiente apartado se compara el coste de construcción del buque proyectado con el coste de buques de este tipo en el mercado actual.

Para ello, se utilizará el artículo “Estimating capital cost of small scale LNG Carrier - M. Habib Chusnul Fikri, Jooned Hendrarsakti, Kriyo Sambodho, Frengki Mohamad Felayati, Nilam Sari Octaviani, Mohamad Jeffry Giranza, and Gregorius Andrico Hutomo”. Este artículo fue escrito en 2020, por tanto, los valores que se indiquen se toman como adecuados. En él se muestran los siguientes valores:

LNG (m3)	Precio
7500	37 000 000
22500	80 000 000
30000	105 000 000

Dado que no se dispone de datos de buques de las dimensiones del proyectado, se estimará el coste a partir de los datos del artículo mediante rectas de regresión, y finalmente, se comparará con el valor calculado en apartados anteriores.



En el gráfico mostrado se puede observar como una línea continua los valores que se han obtenido del artículo, como línea discontinua la línea de tendencia, la cual aproxima el valor del coste a partir del volumen de carga de LNG que transporta el buque proyectado.

Se observa que para 140000 metros cúbicos de LNG el coste aproximado supera ligeramente los 140 millones de euros, siendo 141-142 millones de euros.

El valor calculado en apartados anteriores se recuerda que tomaba el siguiente valor:

$$C_{Total} = 142996742.8 \text{ €}$$

Por tanto, dado que ambos valores obtenidos de formas distintas son similares, se concluye que son adecuados.

7 BIBLIOGRAFÍA

- PROYECTOS DE BUQUES Y ARTEFACTOS. Fernando Junco – EPS – UDC – Ferrol.
- EL PROYECTO BÁSICO DEL BUQUE MERCANTE. Ricardo Alvariño, Juan J. Aspiroz, Manuel Meizoso – FEIN Madrid.
- Estimating capital cost of small scale LNG Carrier - M. Habib Chusnul Fikri, Jooned Hendrarsakti, Kriyo Sambodho, Frengki Mohamad Felayati, Nilam Sari Octaviani, Mohamad Jeffry Giranza, and Gregorius Andrico Hutomo
- Otros sitios web

Fdo: Marina de la Peña Herrero



Ferrol, 15 de Septiembre de 2022