



## **TRABAJO FIN DE GRADO**



### **BUQUE PARA LA INSTALACIÓN DE PARQUES EÓLICOS OFFSHORE**

**Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la  
más favorable**

<b>AUTOR:</b>	<b>Alejandro Caridad Bouza</b>
<b>TUTOR:</b>	<b>D. Luís Carral Couce</b>
<b>ESCUELA:</b>	<b>Escuela Politécnica Superior Ferrol</b>
<b>UNIVERSIDAD:</b>	<b>Universidad de A Coruña</b>
<b>Nº DE CUADERNO:</b>	<b>1</b>
<b>FECHA:</b>	<b>Febrero 2015</b>

# Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

---



Escuela Politécnica Superior

## **DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA** **TRABAJO FIN DE GRADO**

**NÚMERO:** 13-P9.

**TIPO DE BUQUE:** BUQUE PARA LA INSTALACIÓN DE PARQUES EÓLICOS OFFSHORE.

**CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN:** GERMANISHER LLOYD, SOLAS, MARPOL.

**CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA:** 12 AEROGENERADORES DE 3,6 MW.

**VELOCIDAD Y AUTONOMÍA:** 13 NUDOS AL 80% DE MCR CON UN 15% DE MARGEN DE MAR Y AUTONOMÍA DE 35 DÍAS.

**SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA:** GRÚA PRINCIPAL DE 1.200 T DE CAPACIDAD DE IZADO CON UN RADIO DE 40 M.

**PROPULSIÓN:** DIÉSEL ELÉCTRICA.

**TRIPULACIÓN Y PASAJE:** 110 TRIPULANTES.

**OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES:** LAS HABITUALES EN ESTE TIPO DE BUQUES.

# Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

## Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

---

### Índice

1. Introducción .....	1
2. Base de datos .....	2
3. Definición de las dimensiones principales.....	3
3.1. Método de las regresiones.....	3
3.1.1. Cálculo de la eslora.....	3
3.1.2. Cálculo de la manga.....	4
3.1.3. Cálculo del Puntal.....	5
3.1.4. Cálculo del Calado.....	6
3.1.5. Cálculo de la potencia propulsora principal .....	8
3.2. Cálculo de coeficientes .....	10
3.3. Resultados y conclusiones .....	11
4. Estimación de potencia y selección del diésel-generator.....	12
5. Estudio preliminar de pesos. ....	13
5.1. Estimación del desplazamiento.....	13
5.2 Cálculo del peso muerto .....	14
5.3 Cálculo del peso muerto .....	16
6. Alternativa más favorable en función de la cifra de mérito.....	17
6.1. Breve definición del proceso y resultados obtenidos.....	17
6.2. Definición detallada del proceso de obtención de la alternativa .....	18
7. Estudio de pesos de la alternativa .....	23
8. Especificación preliminar .....	25
9. Planta, alzado y cuaderna maestra de un buque tipo .....	27
10. Bibliografía .....	28
Anexo 1 Cálculo de Costes .....	30

# Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

## Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

---

### 1. Introducción

El objetivo de este cuaderno, es realizar una estimación de las dimensiones principales del buque para la instalación de aerogeneradores, así como, de sus características principales. Para ello, se realiza una base de datos, en la cual, se han introducido buques lo más parecidos posible al que es objeto de este trabajo.

Si en cualquier caso, la realización de la base de datos es complicada, en este caso, aún, lo es más, pues, a la tarea de encontrar información detallada y veraz de buques, en el mercado se le añade el reducido número de buques de este tipo. Dada la importancia que tiene en este buque, la posibilidad de mantener una posición fija de forma dinámica y el funcionamiento de las patas de elevación de forma simultánea en breves intervalos de tiempo, se observarán unas necesidades de potencia bastante elevadas.

Una vez desarrollada la base de datos y mediante una serie de regresiones, se calcularán las dimensiones principales del buque. Es de notar, que a diferencia de otros tipos de buques en los que los cálculos se realizan mediante diferentes métodos, gracias a la multitud de publicaciones existentes, para su posterior comparación en el caso presente, no es posible.

Cuando se tengan las dimensiones principales iniciales, se realizará una optimización desde el punto de vista económico de las mismas, para determinar las dimensiones finales.

Con las dimensiones ya escogidas se realizará una estimación de pesos, estimación de potencia y la representación de la planta, alzado y cuaderna maestra de un buque tipo.

## Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

### Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

## 2. Base de datos

A continuación, se presentarán todos los buques empleados para realizar la base de datos, junto con los datos necesarios, para hacer el dimensionamiento preliminar del buque.

NOMBRE	L (m)	Lpp (m)	B (m)	D (m)	T (m)	BHP (kW)	GRT (t)	Desp.(t)	Vs (Knt)	Carga útil (t)	DWT (t)
Vidar	136,50	---	41	---	6,30	10.400	---	---	10	6.000	8.265
Seven Inagha	83,36	80	39,32	10	---	---	---	7.705	7	---	1.134
Pacific Orca	160,90	155,60	49	10,40	6	13.600	14.000	38.918,18	13	6..600	13.104
Endeavour Renewables	76	61	36	---	5,95	6.000	---	---	8	---	---
Dyscovery	138	---	40,80	10	5,50	14.250	19.533	20.739	12,50	6.000	---
Gaoh	142,80	138,40	40	12,50	6,50	12.500	---	---	10	---	10.450
Brave Tern	131,70	---	39	9	5,30	11.400	---	---	12	6.650	---
Seajacks Kraken	62	59,52	36	---	7	6.400	5.186	15.392	8	2.850	1.683
Seajacks Leviathan	61	---	36	---	7	6.000	5.186	14.376	8	2.850	1.683
Pacific Osprey	160,90	155,60	49	10,40	6	13.600	14.000	38.918,75	13	6.600	13.174
Sea Installer	132	126,72	39	---	5,30	18.120	15.966	---	12	5.000	---
Resolution	130	124,80	38	---	4,30	9.700	14.310	20.902	10,50	---	---

Tabla 1: Base de datos inicial.

En algunos de los buques que forman la base de datos, faltan datos principales, como la eslora entre perpendiculares (Lpp), puntal (D) y otros de menor importancia, para la determinación de las dimensiones del buque, como son, el peso muerto, o el desplazamiento. En los primeros casos, la ausencia, es importante, por lo que, se han realizado rectas de regresión, con los buques de los que se dispone y se completan los datos que faltan, pues, se consiguen correlaciones bastante buenas, que hacen que los datos sean fiables.

NOMBRE	L (m)	Lpp (m)	B (m)	D (m)	T (m)	BHP (kW)	GRT (t)	Desp.(t)	Vs (Knt)	Carga útil (t)	DWT (t)
Vidar	136,50	128,72	41	10,50	6,30	10.400	---	---	10	6.000	8.265
Seven Inagha	83,36	80	39,32	10	5,65	7.821,28	---	7.705	7	3.181,57	1134
Pacific Orca	160,90	155,60	49	10,40	6,00	13.600	14.000	38.918,75	13	6.600	13.104
Endeavour Renewables	76	61	36	10,72	5,95	6.000	---	---	8	2.359,06	---
Discovery	138	130,24	40,80	10	5,50	14.250	19.533	20.739	12,50	6.000	---
Goah	142,80	138,40	40	12,50	6,50	12.500	---	---	10	5.709,71	10.450
Brave Tern	131,70	124,88	39	9	5,30	11.400	---	---	12	6.650	---
Seajacks Kraken	62	59,52	36	13,23	7,00	6.400	5.186	15.392	8	2.850	1.683
Seajacks Leviathan	61	52,55	36	13,23	7,00	6.000	5.186	14.376	8	2.850	1.683
Pacific Osprey	160,90	155,60	49	10,40	6,00	13.600	14.000	38.918,75	13	6600	13.174
Sea Installer	132	126,72	39	9,17	5,30	11.419,33	15.966	---	12	5.000	---
Resolution	130	124,80	38	6,78	4,30	7.600	14.310	20.902	10,50	5.120,96	---

Tabla 2: Base de datos completada.

## 3. Definición de las dimensiones principales

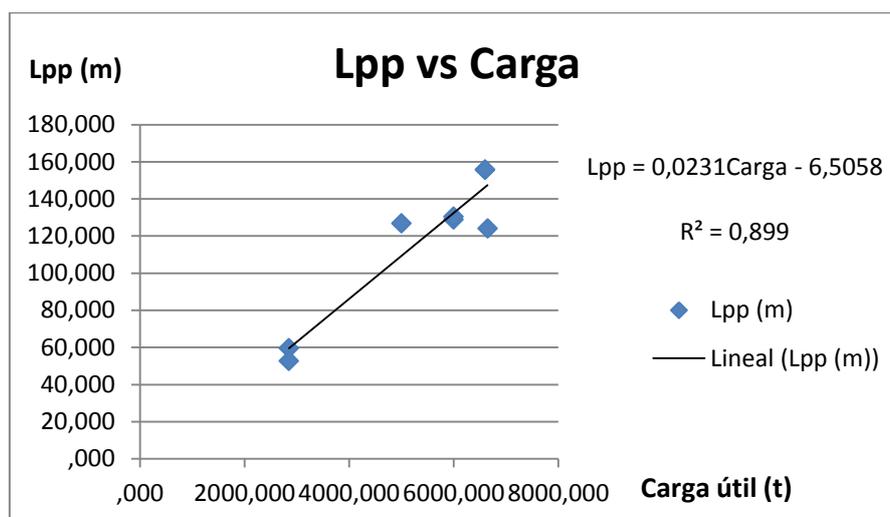
Para definir las dimensiones iniciales de un buque, se debe comenzar con los datos de la RPA. Esto es, lo que se realizará en este caso, pudiendo verse dicha RPA al comienzo de este cuaderno.

Para realizar los cálculos de las dimensiones básicas, se va a seguir el “Método de las regresiones” obtenidas, a partir de la base de datos.

### 3.1. Método de las regresiones

#### 3.1.1. Cálculo de la eslora

Para iniciar el cálculo de la eslora, se parte de la carga útil, que ha de poder llevar el buque, aproximadamente 6.600 t (obtenido por comparación con buques similares).



Gráfica 1: Lpp vs Carga útil.

Realizando la regresión Lpp vs Carga útil se consigue una aproximación muy buena, lo que se comprueba con un coeficiente de correlación, próximo a la unidad ( $R^2 = 0,899$ ).

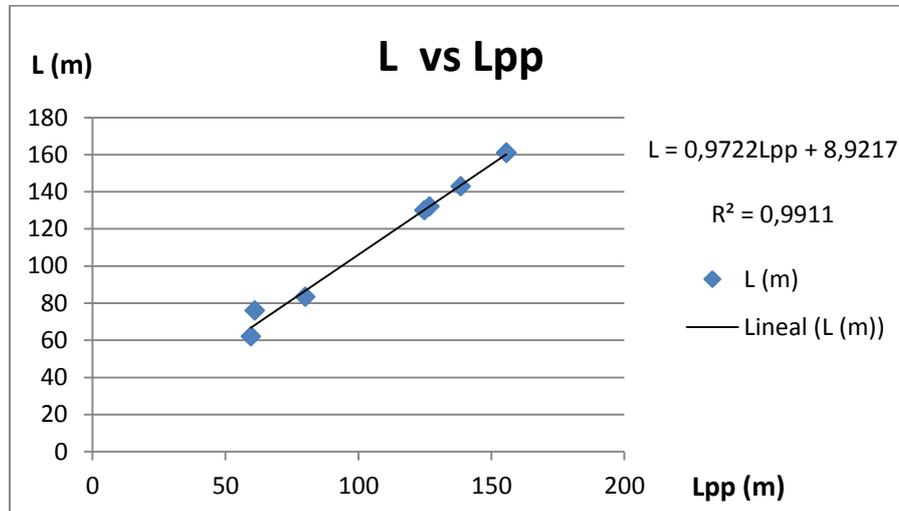
Utilizando la ecuación de la regresión, se obtiene, una eslora entre perpendiculares (Lpp) de:

$$Lpp = 0,0231 * 6.600 - 6,5058 = 145,95 \text{ m}$$

## Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

### Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

Una vez obtenida la eslora entre perpendiculares, realizamos el mismo proceso con la regresión  $L$  vs  $L_{pp}$ , para determinar la eslora.

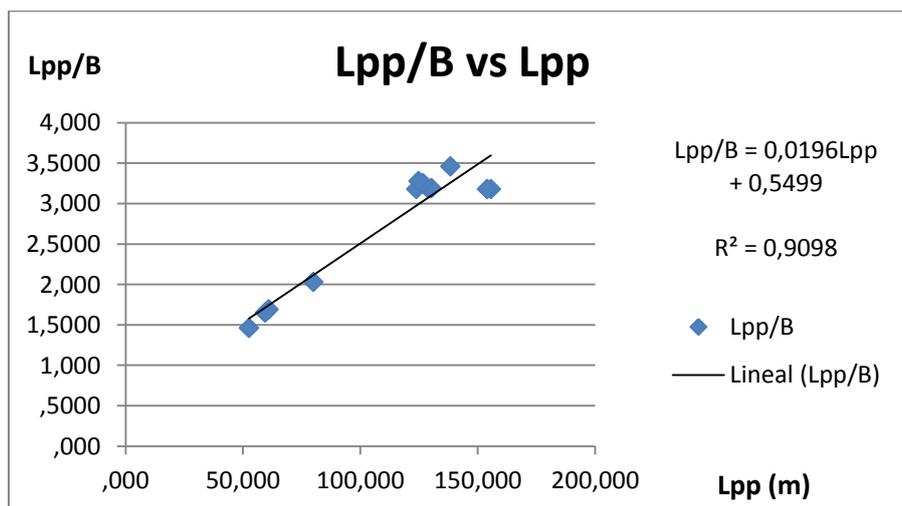


Gráfica 2: L vs Lpp.

$$L = 0,9722 * 145,95 + 8,9217 = 150,82 \text{ m}$$

### 3.1.2. Cálculo de la manga

Para determinar la manga, se utiliza la regresión  $L_{pp}/B$  vs  $L_{pp}$ :



Gráfica 3: Lpp/B vs Lpp.

$$L_{pp}/B = 0,0196 * 145,95 + 0,5499 = 3,71$$

$$B = \frac{145,95}{3,71} = 42,79 \text{ m}$$

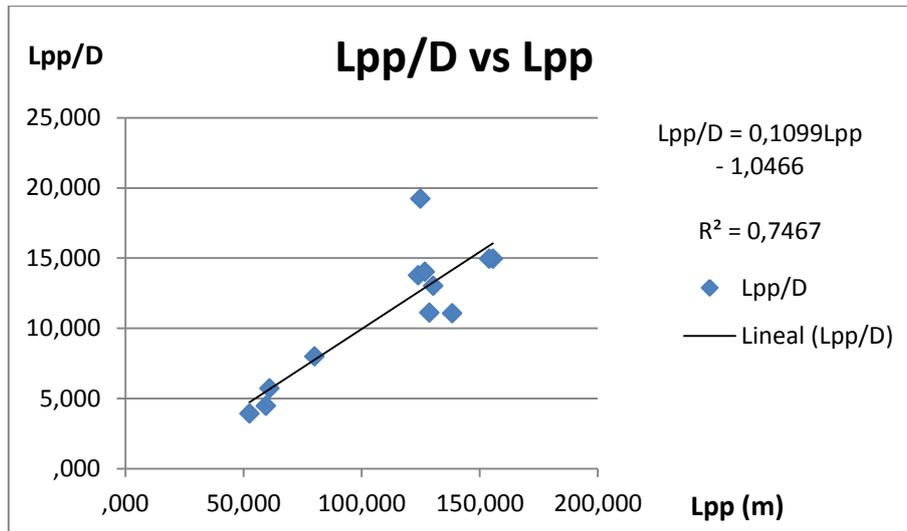
# Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

## Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

### 3.1.3. Cálculo del Puntal

El calado, se puede determinar, a partir de dos regresiones diferentes:

#### 1- Regresión Lpp/D vs Lpp:

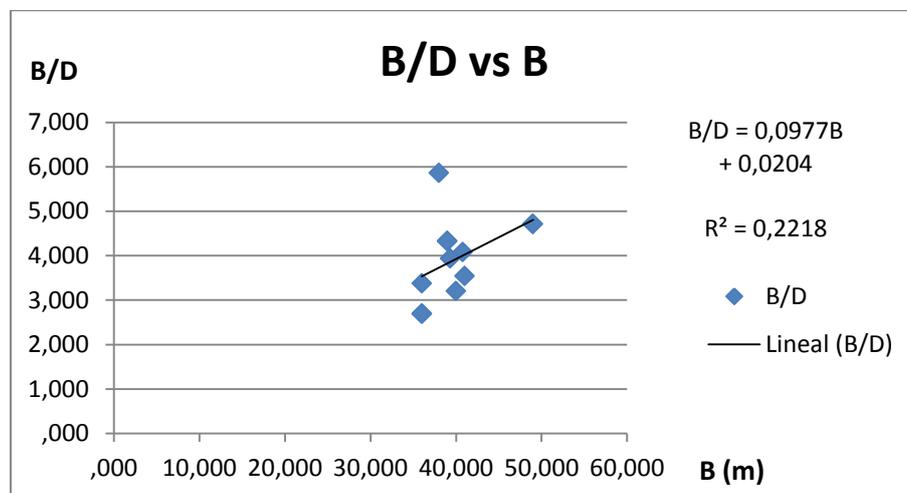


Gráfica 4: Lpp/D vs Lpp.

$$Lpp/D = 0,1099 * 145,95 - 1,0466 = 14,99$$

$$D = \frac{145,95}{14,99} = 9,73 \text{ m}$$

#### 2- Regresión B/D vs B:



Gráfica 5: B/D vs B.

## Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

### Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

$$B/D = 0,0977 * 42,79 + 0,0204 = 4,20$$

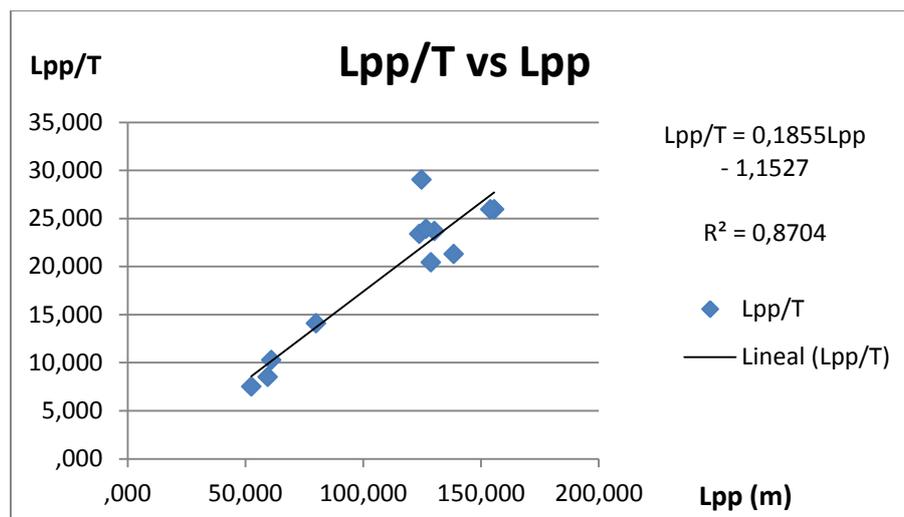
$$D = \frac{42,79}{4,20} = 7,94 \text{ m}$$

De los valores obtenidos, se considerará como válido el procedente de la regresión Lpp/D vs Lpp pues es la que posee un mayor coeficiente de correlación.

#### 3.1.4. Cálculo del Calado

Este cálculo, se puede realizar en base a tres regresiones distintas:

##### 1- Regresión Lpp/T vs Lpp:



Gráfica 6: Lpp/T vs Lpp.

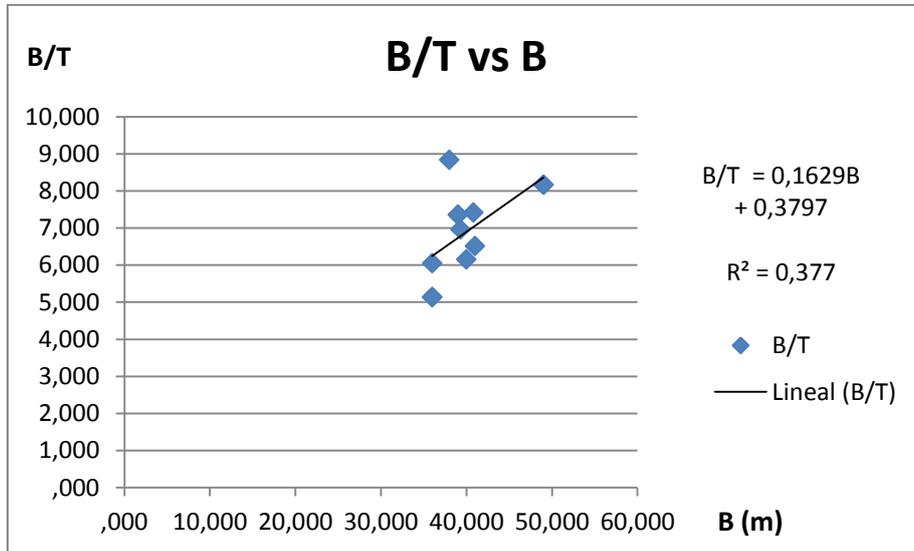
$$Lpp/T = 0,1855 * 145,95 - 1,1527 = 25,92$$

$$T = \frac{145,95}{25,92} = 5,63 \text{ m}$$

# Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

## Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

### 2- Regresión B/T vs T:

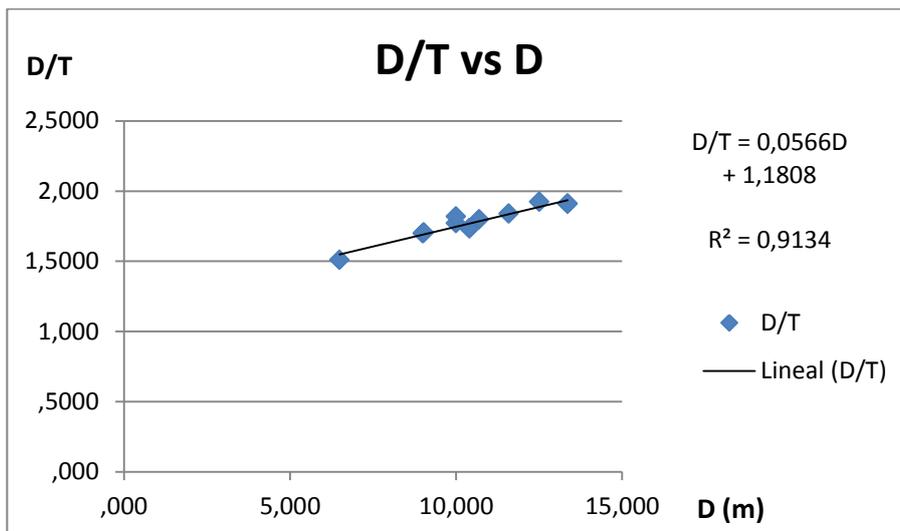


Gráfica 7: B/T vs B.

$$B/T = 0,1629 * 42,79 + 0,3797 = 7,98$$

$$T = \frac{42,79}{7,98} = 5,82 \text{ m}$$

### 3- Regresión D/T vs D:



Gráfica 8: D/T vs D.

$$D/T = 0,0566 * 9,73 + 1,1808 = 1,73$$

## Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

### Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

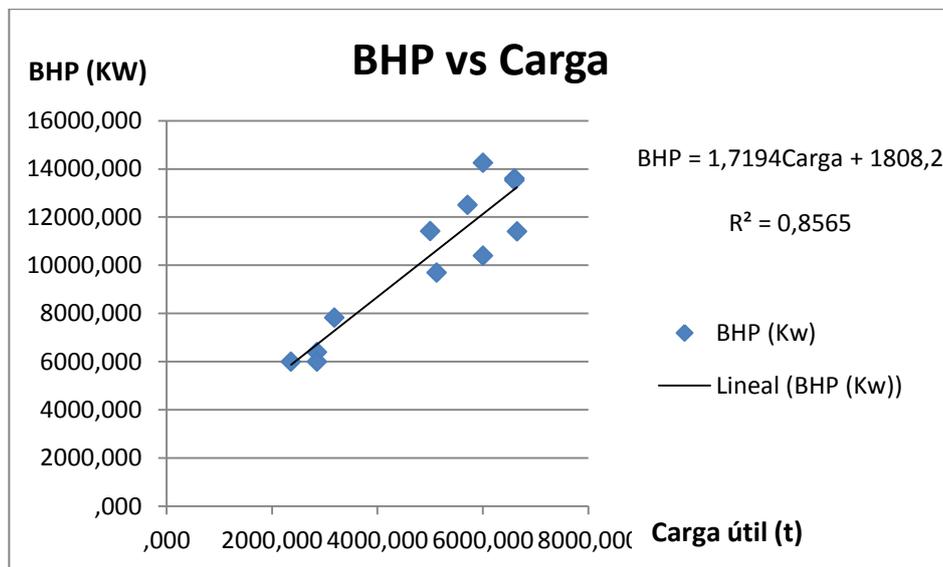
$$T = \frac{9,73}{1,73} = 5,62 \text{ m}$$

Al igual que en el caso del puntal, el calado válido, es el procedente de la regresión con mayor coeficiente de correlación, en este caso D/T vs D.

#### 3.1.5. Cálculo de la potencia propulsora principal

Para la determinación de la potencia propulsora principal, se pueden usar dos regresiones:

##### 1- Regresión BHP vs Carga útil:



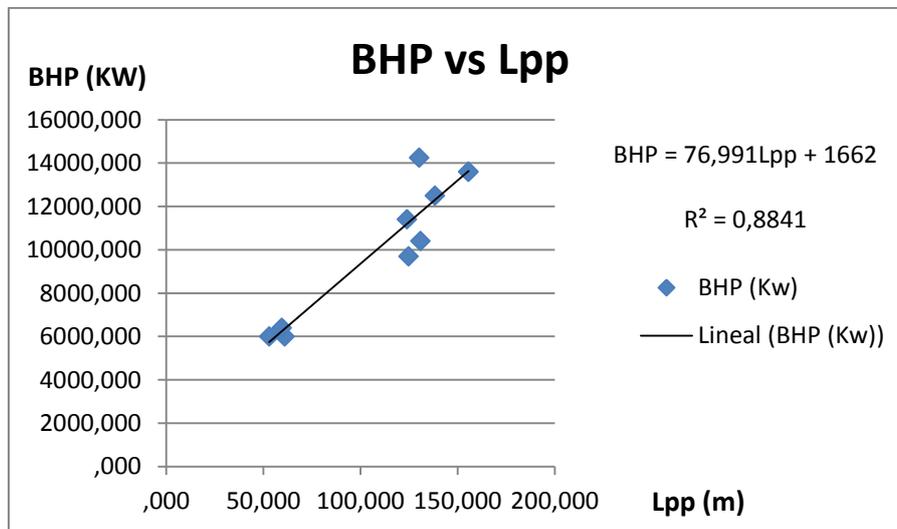
Gráfica 9: BHP vs Carga útil.

$$BHP = 1,7194 * 6.600 + 1.808,2 = 13.156,24 \text{ kW}$$

## Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

### Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

#### 2- Regresión BHP vs Lpp:



Gráfica 10: BHP vs Lpp.

$$BHP = 76,991 * 145,95 + 1.662 = 12.899,16 \text{ kW}$$

En el caso de la potencia, las dos regresiones realizadas, poseen un coeficiente de correlación elevado y muy similar, por lo que, se tomará como válido, el valor más restrictivo, 13.156,24 kW (opción 1).

### 3.2. Cálculo de coeficientes

- **Coefficiente de bloque:** Utilizando la fórmula de Alexander, resulta que:

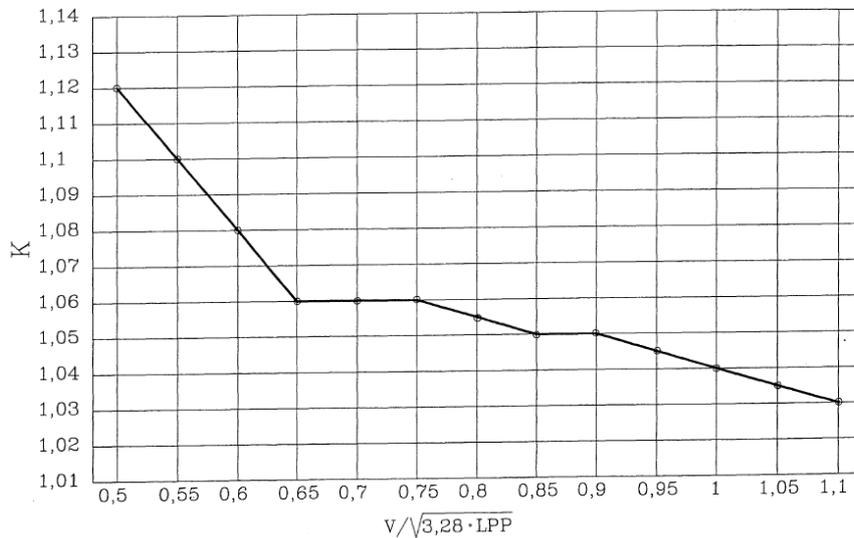


Tabla 3: Determinación factor K.

$$\frac{13}{(3,28 * 145,95)^{1/2}} \Rightarrow K = 1,08$$

$$Cb = 1,08 - \frac{13 * 0,50}{(3,28 * 145,95)^{1/2}} = 0,78$$

- **Coefficiente sección media:** Mediante la fórmula de Kerlen, resulta:

$$Cm = 1,006 - 0,0056 * Cb^{-3,56} = 0,99$$

- **Coefficiente prismático:**

$$Cp = \frac{Cb}{Cm} = 0,79$$

- **Coefficiente de flotación:**

$$Cwp = \frac{(1 + 2 * Cb)}{3} = 0,85$$

## Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

### Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

---

### 3.3. Resultados y conclusiones

Las dimensiones escogidas, se presentan en la siguiente tabla:

L (m)	Lpp (m)	B (m)	D (m)	T (m)	Carga útil (t)	BHP (kW)
150,82	145,95	42,79	9,73	5,62	6.600	13.156,24

**Tabla 4: Dimensiones principales.**

Los resultados son coherentes, si se comparan con la de los buques, de la base de datos. Como se dijo, para la determinación de estas dimensiones, se partió de la condición más restrictiva de la RPA, que en este caso, es la capacidad de carga del buque, pues esta, influye de forma significativa en todas las dimensiones, así como, en la potencia a instalar en el buque.

Escogiendo valores elevados de manga, se asegura una mayor capacidad de estabilidad, criterio importante, para realizar trabajos de elevación de aerogeneradores de hasta, 550 toneladas.

Aunque pueda parecer que los cálculos son excesivamente conservadores, en el apartado siguiente, se buscará la alternativa más favorable y será aquí, Dónde se pongan unos límites mínimos y más concretos, a las dimensiones del buque, para cumplir la RPA.

#### 4. Estimación de potencia y selección del diésel-generator

En este apartado, se realizará una estimación preliminar de la potencia total necesaria en el buque, a partir, de los valores conseguidos mediante el “Método de las regresiones”. Hasta ahora, se ha trabajado con la potencia propulsora principal pero en este tipo de buques, existen otros grandes consumidores, como son, los motores de las patas de elevación y de los propulsores para maniobra.

Por lo citado previamente y tomando como referencia el buque base, pues sus necesidades de operación son muy similares a las del buque de este trabajo, la potencia de salida a instalar, considerando rendimientos y pérdidas por distribución, sería de 25.200 kW (potencia de salida).

Dadas la potencia necesaria, así como, una frecuencia de 50 Hz, estándar en Europa, una opción es instalar el generador Mak 8 M 32C que produce una potencia de 8 MW, por lo que el número de generadores a instalar, sería de:

$$N^{\circ} \text{ generadores} = 25.200 / 6.400 (80\% \text{ MCR}) = 3,93 \text{ gen.}$$

Como es imposible la instalación de un diésel-generator de forma parcial, se instalarán, 4 diésel-generadores.

Los resultados obtenidos, serán analizados con mayor detalle, en los Cuadernos 6 y 10 realizando los cálculos, mediante un software de predicción de potencia y teniendo en consideración, todos los consumidores existentes.

## Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

### Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

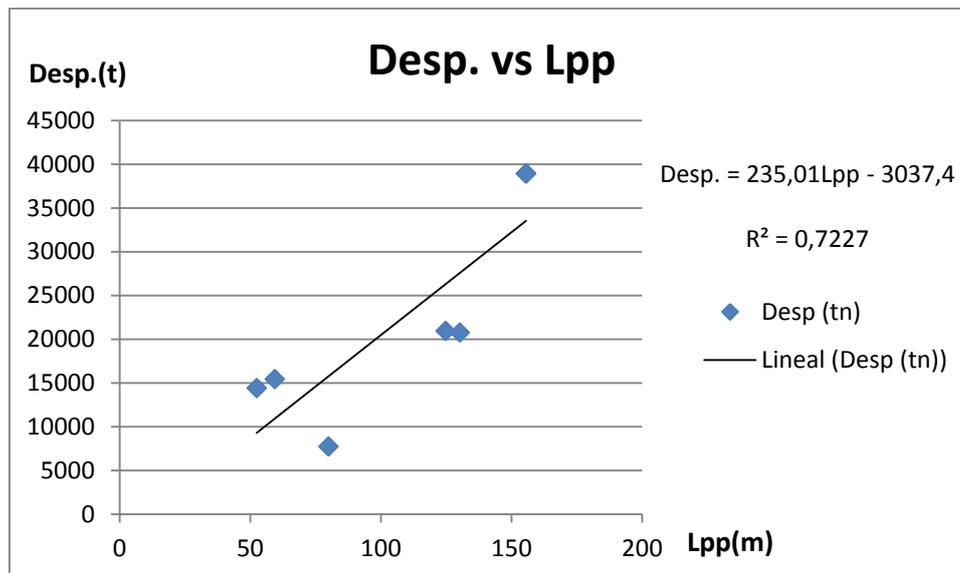
## 5. Estudio preliminar de pesos.

En este apartado, se darán simplemente unas estimaciones preliminares del cálculo de pesos, sin demasiado detalle.

### 5.1. Estimación del desplazamiento

Se comenzará esta estimación, con el cálculo del desplazamiento. Este, puede ser obtenido, con la ecuación de la regresión Desp. vs Lpp, las más restrictiva, o partiendo de las dimensiones y coeficientes calculados para el buque.

#### Por regresiones:



Gráfica 11: Desp. vs Lpp.

$$Desp. = 235,01 * 145,95 - 3037,4 = 31.262,31 t$$

#### Por dimensiones:

$$Desp. = 1,025 * Cb * Lpp * B * T = 28.060,87 t$$

Como se ve, los valores obtenidos son diferentes según el método empleado. Esto se debe, a que en el cálculo del desplazamiento, a partir de las dimensiones, no son tenidas en cuenta las patas de elevación, mientras que, si se tienen en consideración, en el “Método de las regresiones”.

## Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

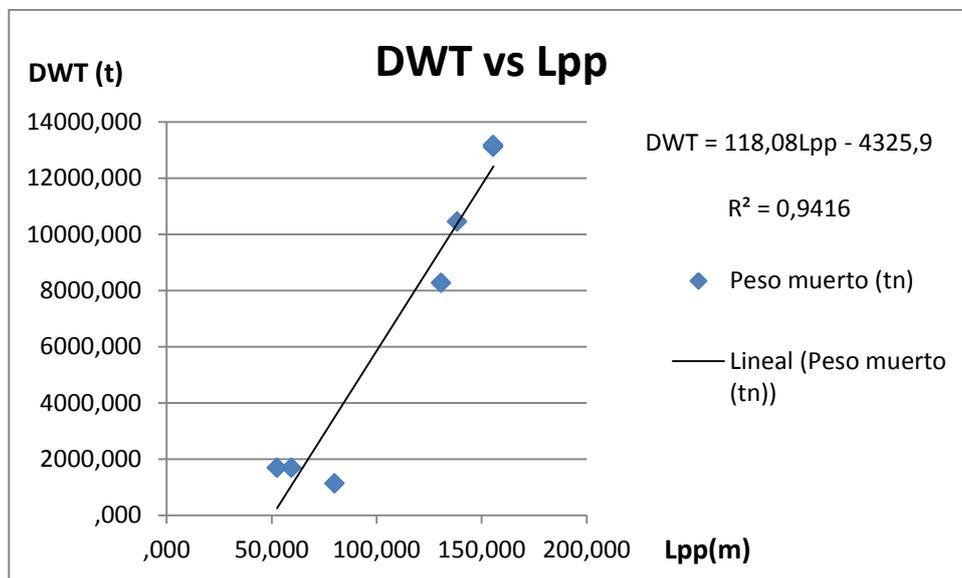
### Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

Por lo tanto, se tomará como válido, el desplazamiento resultante del “Método de las regresiones”, ya que, todos los valores obtenidos, son coherentes.

## 5.2 Cálculo del peso muerto

### 1- Por regresión:

Para estimar inicialmente el peso muerto, se utilizarán las regresiones provenientes de la base de datos y las dimensiones de la alternativa más favorable, además de un cálculo por desglose de partidas.



Gráfica 12: DWT vs Lpp.

$$DWT = 118,08 * Lpp - 4.325,9 = 118,08 * 145,95 - 4.325,9 = 12.907,88 t$$

### 2- Por desglose:

En este caso se calculará el peso muerto del buque como la suma de los pesos de las siguientes partidas:

#### Carga útil:

En la especificación se indica que el buque ha de transportar 12 aerogeneradores de 3,60 MW con un peso unitario de 550 t.

## Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

### Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

#### Consumos:

- **Combustible:** Para el consumo de combustible, se van a utilizar la velocidad de servicio y la autonomía especificada en la RPA. Conociendo el consumo por hora y kilovatio de los motores diésel del buque, se podrá calcular el peso total de combustible. Para conocer el consumo específico se ha acudido a la guía del diésel-generator, seleccionado en el apartado 5 (Mak 16 VM 32C de 8.000 kW). Como el buque lleva propulsión diésel-eléctrica, su consumo será menor que, el estimado en este apartado.

Se tiene que:

Consumo motor (80% MCR) = 179gr/kWh.

Autonomía = 35 días \* 24 horas = 840 horas.

Potencia motor (80% MCR) = 6.400 kW.

**Peso combustible** = Consumo motor \* Autonomía \* Potencia motor \* 4 \* 0,000001 t/gr = 3.849,22 t

- **Aceite:** El peso del aceite necesario para todos los motores ha de ser de 0,75g/kWh \* 6.400 kW \* 840 horas \* 4 = 16,13 t (Se supone un consumo 0,75g/kWh).
- **Agua dulce, agua alimentación y agua potable:** Dado que, los motores del buque están refrigerados por aceite, se va a suponer que este peso, de existir, no afectará demasiado a los cálculos, por lo que solo se tratará el peso del agua potable.

Según la UNE-EN ISO 15748-2.” Embarcaciones y tecnología marina. Suministro de agua potable en buques y estructuras marinas. Parte 2: Método de cálculo “. Y considerando el buque como plataforma offshore se toma un consumo de 350 l/persona al día, y dado que el buque está como máximo 35 días en la mar y que la densidad del agua es de 1 kg/l se tiene que:

**Peso agua dulce:** 110 tripulantes \* 350 l/persona al día \* 35 días \* 0,001 t/litro = 1.347,50 t.

- **Víveres:** Para el cálculo del peso de los víveres, se supone un peso de 5 kg por persona y día:

**Peso víveres:** 110 tripulantes \* 5 kg/persona día \* 35 días / 1.000 kg/t = 19,25 t

## Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

### Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

#### Tripulación y pasaje:

En esta partida, solo se tendrá en cuenta el peso de la tripulación, pues, este buque no lleva pasaje.

Estimando un peso de 125 kg por persona se tiene que:

**Peso de tripulación y pasaje** = 125 kg/persona \* 110 tripulantes / 1.000 kg/t = 13,75 t

#### Pertrechos:

Se tendrá para los pertrechos, un valor aproximado de 200 t, pues no se especifica nada en la RPA.

<b>CARGA ÚTIL</b>	6.600 t
<b>CONUMOS</b>	
<b>COMBUSTIBLE</b>	3.849,22 t
<b>ACEITE</b>	16,13 t
<b>AGUA DULCE</b>	1.347,50 t
<b>VÍVERES</b>	19,25 t
<b>TRIPULACIÓN Y PASAJE</b>	13,75 t
<b>PERTRECHOS</b>	200 t
<b>PESO MUERTO TOTAL</b>	12.045,85 t

Tabla 5: Estimación Peso muerto.

### 5.3 Cálculo del peso muerto

Una vez realizados todos los cálculos y debido a la inexistencia de fórmulas más exactas para la estimación del peso en rosca de buques del tipo en el cual se basa este trabajo se determinará a partir de la relación básica entre pesos de un buque.

Desplazamiento = Peso muerto + Peso en rosca.

Peso en rosca = 31.262,31 – 12.907,88 = 18.354,43 t

## 6. Alternativa más favorable en función de la cifra de mérito

### 6.1. Breve definición del proceso y resultados obtenidos

En este apartado, se estudiará la alternativa más favorable de dimensionamiento del buque, en función, de la cifra de mérito escogida. En este caso, es el coste de construcción, por lo que, se tratará de hacer que dicho coste sea mínimo, variando las dimensiones del buque, por supuesto, sin perder las funcionalidades especificadas en la RPA.

Para realizar este apartado, se ha utilizado la herramienta Solver de Microsoft Excel. El procedimiento realizado se detalla a continuación, mientras que, los cálculos pueden verse en el Anexo 1 “Cálculo de Costes”.

Lo primero, es calcular el coste de construcción del buque, en función de las dimensiones iniciales, calculadas, en el apartado anterior. El cálculo de este coste, es preliminar, obteniéndose un valor en función de parámetros como las dimensiones del buque, los materiales empleados, el nivel económico del país de construcción... Para realizar estos cálculos se han tomado, como base, los apuntes de la asignatura “Proyectos” del profesor Fernando Junco.

Una vez conseguido el valor, se propondrá una alternativa a esta opción inicial, el cual, se calculará mediante Solver. Al tener el coste de construcción, en función de los parámetros de dimensionamiento, lo que hará el programa, es jugar con distintos valores de las dimensiones, para minimizar el coste de construcción. Obviamente, habrá que establecer restricciones, pues sino, las dimensiones más económicas, serían siempre de valor nulo, no construir el buque. Para evitar esto, se pondrán restricciones que hagan que el buque siga cumpliendo las funcionalidades para las que será diseñado y que vienen especificadas en la RPA además, de unas restricciones de formas.

En este caso, el tamaño del buque, vendrá restringido en primer lugar, por la capacidad de carga útil, número de aerogeneradores que el buque ha de ser capaz de albergar. Para esto, se ha exigido que la eslora no sea inferior a 131,36 metros y la manga, sea mayor, o igual a 40,65 metros. La carga, también obliga a imponer una restricción de peso muerto mínimo, por lo que, se exigirá una capacidad de peso muerto mínima, igual al calculado en el apartado 5.2 de este cuaderno, 12.045,85 t.

Además, se han puesto las siguientes restricciones para que las formas y capacidades del buque no difieran demasiado de los buques de la base de datos:

## Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

### Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

MÍNIMO	RESTRICCIONES	MÁXIMO
131,36	Lpp	160,55
40,65	B	47,07
5,34	T	6,18
9,24	D	10,70
3,24	Lpp/B	3,75
4,18	B/D	4,84
1,64	D/T	1,90
24,67	Lpp/T	28,57
12.045,85	Peso muerto	-

Tabla 6: Restricciones para Solver.

Se ha exigido que la relación D - T no sea inferior a 4,11, pues el buque, por disponer de tanta carga en cubierta, tendrá requerimientos especiales de estabilidad.

El resultado obtenido, es el más óptimo posible dentro de las restricciones, descendiendo en mayor medida la eslora, por ser la dimensión más cara y compensando esta disminución, con un aumento en las otras variables, para así cumplir las restricciones, anteriormente citadas.

	L (m)	Lpp (m)	B (m)	D (m)	T (m)	Desp. (t)	Carga útil (t)	P.Rosca (t)	P.Muerto (t)	BHP (kW)
Inicial	150,82	145,95	42,79	9,73	5,62	31.262,31	6.600	18.354,43	12.907,88	13.156,24
Alternativa	144,84	138,65	40,65	9,24	5,36	29.546,74	6.600	17.500,85	12.045,89	13.156,24

Tabla 7: Comparación características.

Además, el ahorro en coste, con respecto a la alternativa inicial, es igual a 6.345.419,85 €, lo cual es significativo.

## 6.2. Definición detallada del proceso de obtención de la alternativa

A continuación, se explicará de forma detallada, como se han obtenido los datos para la selección de la alternativa más favorable, en función del coste de construcción, cifra de mérito escogida, pues, de lo que se trata, es de minimizar este.

Las ecuaciones que se utilizaran, han sido obtenidas de los apuntes de clase, de la asignatura de “Proyectos” de los profesores Vicente Díaz Casas y Fernando Junco:

### Coste de Construcción:

Será igual, a la suma de los costes de los materiales, costes de equipos, coste de la mano de obra y coste de ingeniería.

$$CC = CMg + CEq + CMo + Cva$$

## Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

### Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

---

$CMg$  = coste de materiales a granel.

$CEq$  = coste de equipos.

$CMo$  = coste de mano de obra.

$Cva$  = otros gastos del astillero.

A continuación se explicarán cada una de estas partidas de forma más detallada.

- **Coste de materiales:**

El coste de materiales atenderá a la siguiente fórmula:

$$CMg = cmg * PS$$

$cmg$  = coeficiente de coste del material a granel. Este coeficiente, a su vez se puede descomponer de la forma siguiente:

$$cmg = ccs * cas * cem * ps$$

$ccs$  = coeficiente ponderado de chapas y aceros de distintas calidades.

$cas$  = coeficiente de aprovechamiento de acero.

$cem$  = incremento por equipo metálico incluido en la estructura.

$ps$  = precio unitario del acero de referencia, 450 €/t.

Los valores recomendados son:

$$1,05 < ccs < 1,10 - 1,50$$

$$1,08 < cas < 1,15$$

$$1,03 < cem < 1,10$$

En este caso, se han escogido los siguientes valores:

$ccs$	1,25
$cas$	1,12
$cem$	1,10
$ps$	450

**Tabla 8: Coeficientes C. Materiales.**

## Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

### Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

$PS$  = peso de aceros del buque.

La estimación del peso de aceros, será función de las dimensiones principales y de un coeficiente  $K$  dependiente del tipo de buque:

$$PS = K * Lpp * B * D * (Lpp / D)^{1/2}$$

- **Coste de la mano de obra:**

El coste de la mano de obra se calcula de la siguiente forma:

$$CMo = CMm + CMe$$

$$CMm = chm * csh * PS$$

$chm$  = coste horario medio del astillero.

$csh$  = coeficiente de horas por unidad de peso.

$PS$  = peso de aceros.

Los valores recomendados son:

$$20/30 < csh < 80/100 \text{ horas/tonelada}$$

$$20/25 < chm < 10/40 \text{ €/hora}$$

En este caso, los valores escogidos son:

$csh$	75
$chm$	30

Tabla 9: Coeficientes C. M. Obra.

$CMe$  = coste de la mano de obra de montaje de los equipos e instalaciones.

- **Coste de equipos:**

$$CEq + CMe = CEc + CEp + CHf + CER$$

Siendo:

$CEp$  = coste de los equipos de propulsión, auxiliares y su montaje.

## Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

### Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

---

A su vez, se tiene que:

$$CEp = cep * BP$$

Dónde:

*cep* = coste por unidad de potencia de equipos de propulsión y sus auxiliares. Los valores recomendados están entre 300 y 400 €/KW, se escoge un valor de 350 €/KW.

*CHf* = coste de habilitación y su montaje.

*BP* = potencia instalada.

A su vez:

$$CHf = chf * nch * NT$$

Dónde:

*chf* = coeficiente unitario de la habilitación por tripulante, el cual, oscila entre 32.000 – 35.000 €/trip. y tomando en este caso, un valor de 33.000 €/trip.

*nch* = coeficiente de nivel de calidad de la habilitación. Toma valores entre 0,90 - 1,20, eligiéndose para este caso un valor de 1.

*NT* = número de tripulantes.

$$CEr = \text{Coste de equipo restante.}$$

Siendo:

$$CEr = ccs * ps * PEr$$

Dónde:

*ccs* = coeficiente ponderado de chapas y aceros de distintas calidades.

*ps* = precio unitario del acero de referencia.

*PEr* = peso de equipo restante =  $K * Lpp^{1,73} * B^{0,80} * D^{0,30}$  ( K varía entre 0,03 y 0,05, en este caso, se asigna un valor de 0,05).

## Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

### Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

---

- **Coste de otros gastos del astillero:**

Esta partida corresponderá a seguros, sociedades de clasificación, ensayos de canal etc... no incluidos en las anteriores partidas. Se recomienda un valor en torno al 5, o 10% de la suma de los costes anteriores.

$$Cva = cva * CC$$

cva = varía entre el 5 - 10% del coste de construcción, se elige un 7%.

- **Incremento del coste debido a las patas de elevación:**

Hasta ahora, se han calculado los costes de construcción, derivados, de las diferentes partidas, pero, hay que realizar una corrección por la existencia de las patas de elevación. Esta corrección, se debe, a que ninguna partida, está diseñada para asumir este tipo de sistema. Para calcular el coste derivado de éste, se parte de un buque, del cual se conocen todos los datos y que posee unas necesidades de elevación, muy similares a las requeridas en este trabajo, además este buque, el Pacific Orca, utilizará como buque base,.

Peso patas Pacific Orca = 6.000 t.

Peso rosca Pacific Orca = 24.400 t.

$$\text{Porcentaje que representan la patas} = \frac{6.000}{24.000} = 25\%$$

Este porcentaje significa, que, a causa de las patas de elevación, el peso del buque, se incrementa en un 25%. Al no disponer de más datos, ni de experiencia previa, relacionados con los costes de este sistema, se asume, que el porcentaje de aumento de peso, coincide, con el porcentaje de aumento de coste.

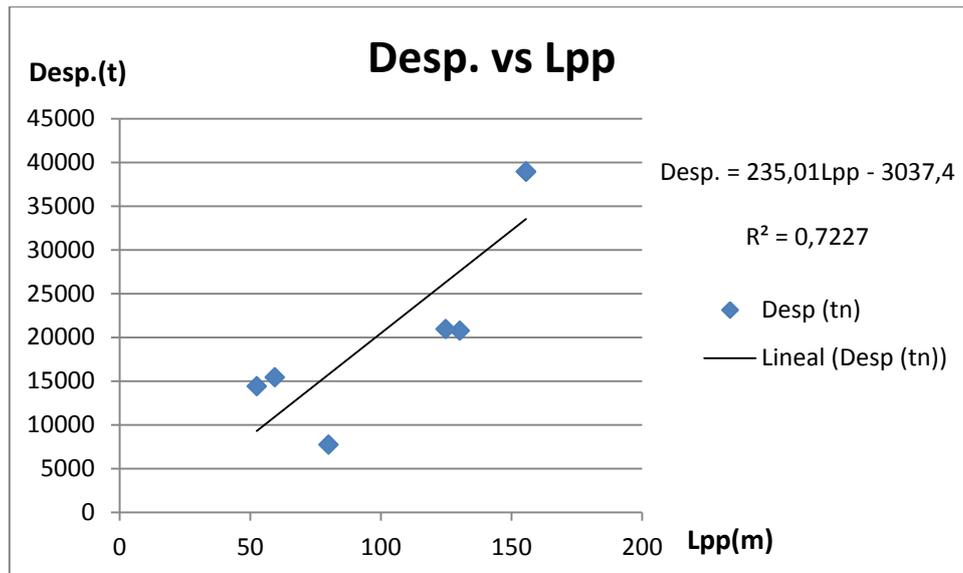
## Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

### Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

## 7. Estudio de pesos de la alternativa

En primer lugar se debe calcular el desplazamiento a partir de las nuevas dimensiones:

### Por regresiones:



Gráfica 13: Desp. vs Lpp.

$$Desp. = 235,01 * 138,65 - 3037,4 = 29.546,74 t$$

### Por dimensiones:

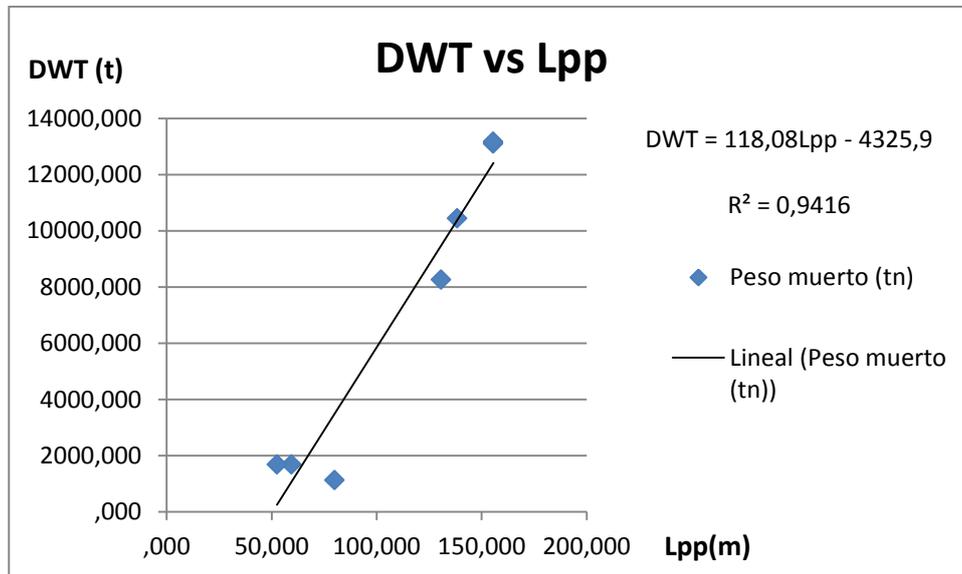
$$Desp. = 1,025 * Cb * Lpp * B * T = 24.152,59 t$$

Como se ve, los valores obtenidos son diferentes según el método empleado. Esto se debe, a que en el cálculo del desplazamiento, a partir de las dimensiones, no son tenidas en cuenta las patas de elevación, mientras que, si se tienen en consideración, en el “Método de las regresiones”.

## Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

### Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

Una vez calculado el desplazamiento se procederá a la determinación del peso muerto, lo cual además de permitir conocer el peso en rosca del buque también servirá como comprobación de que el nuevo buque, la alternativa más favorable, cumple con la condición de peso muerto mínimo.



Gráfica 14: DWT vs Lpp.

$$DWT = 118,08 * Lpp - 4.325,9 = 118,08 * 138,65 - 4.325,9 = 12.907,89 t$$

Una vez realizados todos los cálculos y al igual que en el apartado 5.3 se procede al cálculo del peso en rosca.

$$\text{Desplazamiento} = \text{Peso muerto} + \text{Peso en rosca.}$$

$$\text{Peso en rosca} = 29.546,74 - 12.045,89 = 17.500,85 t$$

## 8. Especificación preliminar

Una vez realizados todos los cálculos, se pueden describir todas las características del buque:

### 1. Características principales:

- **Eslora total** = 144,84 m.
- **Eslora entre perpendiculares** = 138,65 m.
- **Manga de trazado** = 40,65 m
- **Puntal a la cubierta principal** = 9,24 m.
- **Calado de trazado** = 5,36 m.
- **Peso muerto** = 12.045,89 t aprox.
- **Capacidad combustible** = 3.849,22 t aprox.
- **Capacidad aceite lubricante** = 16,13 t aprox.
- **Capacidad agua dulce** = 1.347,50 t aprox.
- **Potencia propulsora principal** = 13.196,24 kW.
- **Número de hélices** = 4.
- **Tripulación** = 110.
- **Clasificación** = Germanischer Lloyd.

### 2. Sistema de generación de energía:

Al tratarse de un buque con propulsión diésel-eléctrica, la planta de generación, suministra energía a todos los sistemas del buque, empezando por la propulsión y acabando por el aire acondicionado.

En cuanto a los generadores de emergencia, se han elegido como opción inicial, dos generadores 3512 B, de la marca Caterpillar. Estos han sido escogidos en base, entre otros motivos, a poder utilizarse como fuente de energía principal en la Condición de Puerto.

## **Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore**

### **Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable**

---

#### **3. Autonomía:**

El buque ha sido diseñado para poder operar durante 35 días sin necesidad de tocar puerto.

#### **4. Acomodación:**

Se dispondrá de aproximadamente 3.800 m<sup>2</sup> de acomodación (incluidos puente, cabina de control y enfermería).

Los camarotes del capitán y del jefe de máquinas serán los mayores, individuales e idénticos en todos los sentidos. El resto de la tripulación, exceptuando a los primeros oficiales irá alojada en camarotes compartidos, el número de ocupantes se define en función del tamaño del camarote y de la graduación de sus ocupantes.

A nivel de confort acústico el buque cumplirá con los estándares acústicos marcado, utilizando materiales como pisos y aislamientos en la acomodación.

#### **5. Sistema de extinción de incendios:**

La cámara de máquinas, sala de control y las demás ubicaciones críticas disponen de un sistema contra incendios de agua nebulizada distribuido según establece la sociedad de clasificación.

#### **6. Equipos de navegación y comunicación:**

Se instalarán a bordo un monitor de rendimiento, un radar banda-s, dos DPGS, un indicador ROT, un triller FU, un radar banda-x, dos giróscopos, un piloto automático, un AIS, un radioteléfono MF/HF, una ecosonda, un anemómetro, un display anemómetros, una corredera, una consola GMDSS, dos radioteléfonos VHF, un fascímil, dos Inmarsat-c, tres radioteléfonos portátiles, un Navtex, un SSAS/LRIT, un EPIRB, un sistema de alarmas, un GSM y dos transpondedores radar.

#### **7. Helicóptero:**

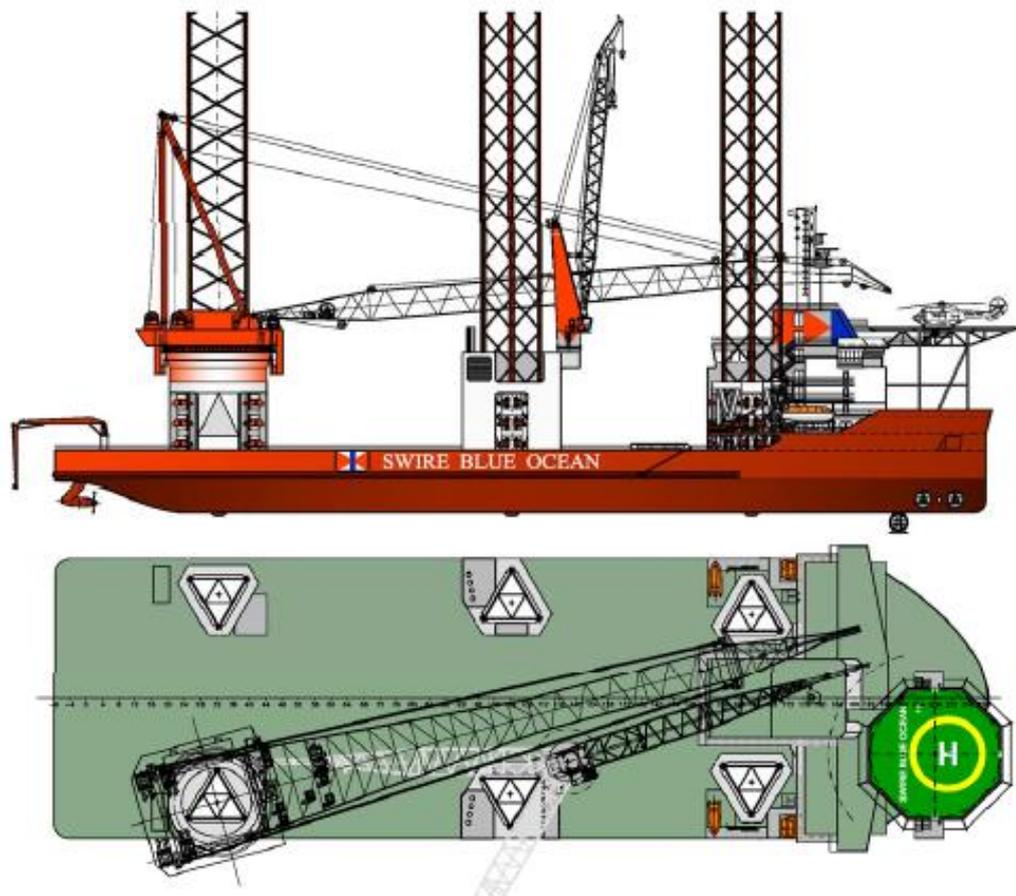
En la zona de proa, sobre el puente de mando, se sitúa una plataforma para el aterrizaje y despegue de helicópteros, dedicados al transporte de material y en casos extremos a transporte de emergencia.

# Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

## Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

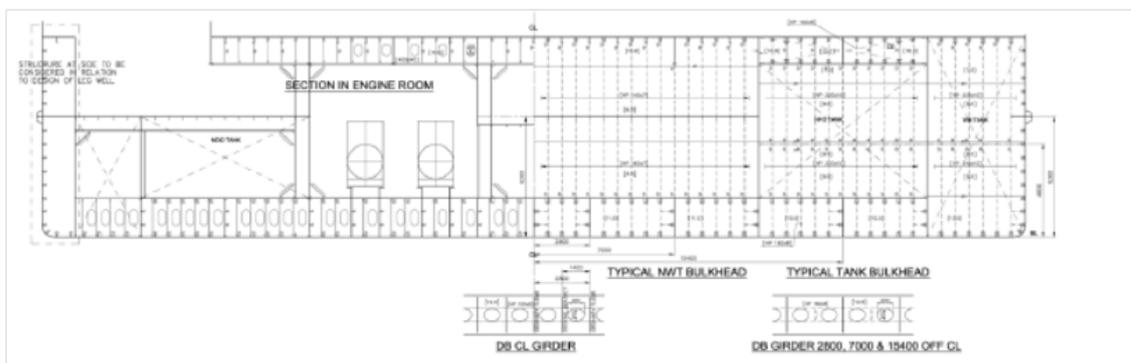
### 9. Planta, alzado y cuaderna maestra de un buque tipo

Para este dibujo se ha tomado como referencia el buque base. En primer lugar se ven el alzado y la planta del buque:



Dibujo 1: Alzado y planta (sin escala).

A continuación se muestra una sección del buque a la altura de la cuaderna maestra.



Dibujo 2: Cuaderna maestra (sin escala).

## Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

### Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

---

## 10. Bibliografía

1. Santiago Ferrer Mur. Determinación del coeficiente de bloque. En: Proyecto básico de un buque portacontenedores. Pag: 14-16. [En línea] 26-06-2011. [Acceso el 14-04-2014]. Disponible en:  
[http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/12856/1/PFC\\_Santiago\\_Ferrer\\_Mur.pdf](http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/12856/1/PFC_Santiago_Ferrer_Mur.pdf)
2. Santiago Ferrer Mur. Determinación del coeficiente de sección media En: Proyecto básico de un buque portacontenedores. Pag: 16-19. [En línea]. 26-06-2011 [Acceso el 14-04-2014]. Disponible en:  
[http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/12856/1/PFC\\_Santiago\\_Ferrer\\_Mur.pdf](http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/12856/1/PFC_Santiago_Ferrer_Mur.pdf)
3. Santiago Ferrer Mur. Determinación del coeficiente prismático En: Proyecto básico de un buque portacontenedores. Pag: 19. [En línea] 26-06-2011.[Acceso el 14-04-2014]. Disponible en:  
[http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/12856/1/PFC\\_Santiago\\_Ferrer\\_Mur.pdf](http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/12856/1/PFC_Santiago_Ferrer_Mur.pdf)
4. Santiago Ferrer Mur. Determinación del coeficiente de flotación.En: Proyecto básico de un buque portacontenedores. Pag: 20. [En línea] 26-06-2011. [Acceso el 14-04-2014]. Disponible en:  
[http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/12856/1/PFC\\_Santiago\\_Ferrer\\_Mur.pdf](http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/12856/1/PFC_Santiago_Ferrer_Mur.pdf)
5. VM 32 C. Project Guide, Generator Set Caterpillar Motoren GmbH & Co. KG.Germany. Edición Agosto 2012.
6. Knud E. Hanben A/S. Design of Wind Turbine Installation Vessel Pacific Orca for Swire Blue Ocean. [En línea][Acceso 10-04-2014]. Disponible en:  
<http://www.skibstekniskelskab.dk/public/dokumenter/Skibsteknisk/Foraar%202013/Design%20of%20Pacific%20Orca.pdf>
7. Seajacks. Seajacks Kraken Servicing the Southern North Sea. [En línea]. [Acceso 10-04-2014]. Disponible en:  
[http://www.seajacks.com/pdfs/Seajacks%20Kraken%20Brochure\\_lr.pdf](http://www.seajacks.com/pdfs/Seajacks%20Kraken%20Brochure_lr.pdf)
8. Seajacks. Seajacks Leviathan Turbine Installation and Maintenance. [En línea]. [Acceso 10-04-2014]. Disponible en:  
[http://www.seajacks.com/pdfs/Seajacks%20Leviathan%20Brochure\\_lr.pdf](http://www.seajacks.com/pdfs/Seajacks%20Leviathan%20Brochure_lr.pdf)

## Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

### Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

---

9. Junco, Fernando. Díaz, Vicente. Proyectos. Escuela Politécnica Superior Ferrol. Universidad de A Coruña.
10. Gaoh Offshore. Gaoh Offshore Deepwater Installer 1. [En línea]. [Acceso 12-04-2014]. Disponible en:  
[http://www.gaohffshore.com/.../Deepwater\\_Installer](http://www.gaohffshore.com/.../Deepwater_Installer)
11. Subsea7. Seven Inagha . [En línea]. [Acceso 11-04-2014]. Disponible en:  
[http://www.subsea7.com/content/dam/subsea7/documents/whatwedo/fleet/constructionother/Seven\\_Inagha.pdf](http://www.subsea7.com/content/dam/subsea7/documents/whatwedo/fleet/constructionother/Seven_Inagha.pdf)
12. A2SEA. Sea Installer. [En línea]. [Acceso 11-04-2014]. Disponible en:  
<http://www.a2sea.com/fleet/sea-installer/>
13. GustoMSC Brave Tern & Bold Tern, Wind Turbine Instalation jack-up vessels, type NG-9000C. [En línea]. [Acceso 11-04-2014]. Disponible en:  
<http://www.gustomsc.com/.../752-brave-tern-bold-tern>
14. GustoMSC. MPI Adventure & MPI Discovery, Wind Turbine Installation & Oil and Gas Jack-up Vessels.[En línea]. [Acceso 11-04-2014]. Disponible en:  
<http://www.gustomsc.com/.../603-mpi-adventure-discovery>
15. Swire Blue Ocean. Technical Specifications, Windfarm Installation Vessels (WIVs) Pacific Orca & Pacific Osprey [En línea]. [Acceso 12-04-2014]. Disponible en:  
[http://www.swireblueocean.com/files/pdf/sbo\\_technical\\_specs\\_may\\_2013.pdf](http://www.swireblueocean.com/files/pdf/sbo_technical_specs_may_2013.pdf)
16. Gmsuae. Endeavour Renewables. [En línea]. [Acceso 12-04-2014]. Disponible en:  
<http://www.gmsuae.com/wp-content/uploads/brochure/endeavour-ren.pdf>
17. Faster and Larger. Knud E. Hansen A/S. [En línea]. [Acceso 12-04-2014]. Disponible en:  
[http://www.knudehansen.com/media/119416/2013\\_built\\_s\\_fart\\_sbo\\_reduced\\_size.pdf](http://www.knudehansen.com/media/119416/2013_built_s_fart_sbo_reduced_size.pdf)

# **Anexo 1**

## **Cálculo de Costes**

## Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

### 1- Costes de la opción inicial:

$CC=CMg+CEq+CMo+Cva$	
$CMg+CEq+CMo$	48.518.157,50
$CMg=cmg*PS=ccs*cas*cem*ps*PS$	6.523.761,59
$PS=K*Lpp*B*D*(Lpp/D)^{(0,5)}$	9.413,80
Ccs	1,25
Cas	1,12
cem	1,10
Ps	450,00
$CMo=CMm+CMe$	
$CMm=chm*csh*PS$	21.181.044,13
Csh	75,00
Chm	30,00
$CEq+CMe=CEc+CEp+CHf+CEr$	20.813.351,78
$CEp=cep*BP$	11.200.000,00
$CHf=chf*nch*NT$	3.630.000,00
$CEr=ccs*ps*Per$	5.983.351,78
Cep	350,00
Chf	33.000,00
Nch	1,00
Ccs	1,20
$PEr=K*Lpp^{(1,73)}*B^{(0,8)}*D^{(0,3)}$	11.080,28
Cva	3.396.271,03
CC sin patas	51.914.428,53
CC con patas	64.680.271,61

Tabla 1.1: Costes opción inicial.

Incremento coste por patas	
Peso patas buque base	6.000,00
Peso rosca buque base	24.400,00
Aumento peso debido a patas	25%
Porcentaje incremento coste	25%

Tabla 1.2: Incremento coste por patas.

	L (m)	Lpp (m)	B (m)	D (m)	T (m)	Desp. (t)	C.útil (t)	BHP (KW)	P.rosca (t)	P. muerto (t)	Cb	Cm	Cp
D.O. inicial	150,82	145,95	42,79	9,73	5,62	31.262,31	6.600,00	13.156,24	18.354,43	12.907,88	0,78	0,99	0,79

Tabla 1.3: Dimensiones opción inicial.

## Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

Cuaderno 1: Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas. Selección de la más favorable

### 2- Optimización de los costes. Alternativa en función de la cifra de mérito:

$CC=CMg+CEq+CMo+Cva$	
$CMg+CEq+CMo$	43.758.312,31
$CMg=cmg*PS=ccs*cas*cem*ps*PS$	5.593.310,09
$PS=K*Lpp*B*D*(Lpp/D)^{(0,5)}$	8.071,15
Ccs	1,25
Cas	1,12
cem	1,10
Ps	450,00
$CMo=CMm+CMe$	
$CMm=chm*csh*PS$	18.160.097,71
csh	75,00
chm	30,00
$CEq+CMe=CEc+CEp+CHf+CEr$	20.004.904,51
$CEp=cep*BP$	11.200.000,00
$CHf=chf*nch*NT$	3.630.000,00
$CEr=ccs*ps*Per$	5.174.904,51
cep	350,00
chf	33.000,00
nch	1,00
ccs	1,20
$PEr=K*Lpp^{(1,73)}*B^{(0,8)}*D^{(0,3)}$	9.583,16
Cva	3.063.081,86
CC sin patas	48.821.394,18
CC con patas	58.334.851,76

Tabla 1.4: Costes alternativa.

MÍNIMO	RESTRICCIONES	MÁXIMO
131,36	Lpp	160,55
40,65	B	47,07
5,34	T	6,18
9,24	D	10,70
3,24	Lpp/T	3,75
4,18	B/D	4,84
1,64	D/T	1,90
24,67	Lpp/T	28,57
12.045,85	Peso muerto	
	4,11	

Tabla 1.5: Restricciones.

Incremento coste por patas	
Peso patas buque base	6.000,00
Peso rosca buque base	24.400,00
Aumento peso debido a patas	25%
Porcentaje incremento coste	25%

Tabla 1.6: Incremento coste por patas.

	L (m)	Lpp (m)	B (m)	D (m)	T (m)	Desp. (t)	C.útil (t)	BHP (KW)	P.rosca (t)	P. muerto (t)	Cb	Cm	Cp
D. alternativa	144,84	138,65	40,65	9,24	5,36	29.546,74	6.600,00	13.156,24	17.500,85	12.045,89	0,78	0,99	0,79

Tabla 1.7: Dimensiones optimizadas.